

**VERSUCHE ZUM WIRKUNGSNACHWEIS VON OZON
AUF DEN MENSCHEN ANHAND DER KREISLAUF-
FUNKTION, ATEMFUNKTION SOWIE PSYCHOPHY-
SISCHER TESTS BEI MAXIMAL 106 STUNDEN
EXPOSITIONSDAUER**

Maria Amberger

1978



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus dem Institut für Medizinische Balneologie
und Klimatologie der Universität München
Vorstand: Prof. Dr. H. Drexel

VERSUCHE ZUM WIRKUNGSNACHWEIS VON OZON AUF DEN
MENSCHEN AN HAND DER KREISLAUFFUNKTION, ATEMFUNKTION
SOWIE PSYCHOPHYSISCHER TESTS BEI MAXIMAL 106 STUNDEN
EXPOSITIONSDAUER

Inaugural Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten
Medizin an der Ludwig Maximilians-Universität
zu München



vorgelegt von
Maria Amberger

München
1978

Mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin der
Universität München

Berichterstatter: Dipl.-Phys. K. Dirnagl
Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. H. Drexel
Dekan: Prof. Dr. med. Spann
Tag der mündlichen Prüfung: 28.2.1978



Meinen Eltern
gewidmet

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

A) EINFÜHRUNG IN DAS THEMA

I.	Entstehung und Vorkommen von Ozon	1
II.	Biologische Wirkungen	3
III.	Literaturübersicht bisheriger Versuche zur biologischen Wirksamkeit des Ozons auf Mensch und Tier	4
IV.	Fragestellung	11

B) WAHL DER METHODE

I.	Höhe der Ozonkonzentration	12
II.	Laure der Exposition	12
III.	Versuchspersonen	14
IV.	Versuchsraum	14
V.	Ozonisierungsanlage	16
	1. Ozonisierung	
	2. Ozonmessung	
	3. Kontrolle von unerwünschten Nebenpro- dukten	
VI.	Methoden zum Registrieren der Veränderungen am Menschen bei Ozoneinwirkung	19
	1. Forderungen an die Auswahl der Meßver- fahren	
	2. Beschreibung der gewählten Testverfahren	

C) DURCHFÜHRUNG DER EXPERIMENTELLEN UNTERSUCHUNG

I.	Ozonversuch - Kontrollversuch	21
II.	Zeitplan	21
III.	Betreuung der Versuchspersonen	23
IV.	Gewinnung der Meßergebnisse	23
	1. Ergometrie	
	2. Tiffeneau-Test	
	3. Reaktionszeit	
	4. Farberinnerungs- und Farbwahltest	
	5. Flimmerverschmelzungsfrequenz	
	6. Befindungsprotokoll	

D) AUSWERTUNG UND DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE

I.	Errechnung von Gruppendurchschnittswerten	35
II.	Graphische Darstellung der Zeitreihen der Gruppendurchschnittswerte für jede Meßgröße	35
III.	Statistische Prüfung der Ergebnisdar- stellung	70
IV.	Gegenüberstellung der Mittelwerte jeder einzelnen Versuchsperson	86
V.	Vergleich: Ozoneinfluß - Versuchsperso- neneinfluß	100

E) DISKUSSION

I.	Problematik und Fehlerquellen	102
	1. Meßmethoden	
	2. Reihenfolge der Versuche	
	3. Individuelle Unterschiede	

II.	Beurteilung der Ergebnisse	105
1.	Bestehen an den einzelnen Meßterminen Unterschiede zwischen Ozon- und Kon- trollreihe?	
2.	Lassen sich insgesamt Unterschiede zwischen Ozon- und Kontrollversuch bei einzelnen Meßgrößen zeigen?	
3.	Sind die Versuchspersonen untereinan- der vergleichbar?	
III.	Vergleich mit einschlägigen Informationen aus der Literatur	115
IV.	Verbesserungsvorschläge für künftige Arbeiten	117
V.	Kritische Anmerkung zur Wertung der Ergeb- nisse	119
F)	<u>ZUSAMMENFASSUNG</u>	120
	LITERATURVERZEICHNIS	122
	LEBENS LAUF	134

A) EINFÜHRUNG IN DAS THEMA

Ozon, die dreiatomige Form des Sauerstoffs, hat u.a. als Bestandteil des sog. photochemischen Smogs gerade in den letzten Jahren immer mehr das Interesse der mit den Folgen der Luftverschmutzung beschäftigten wissenschaftlichen Kreise auf sich gezogen. Denn nicht ohne Grund gilt Ozon als ein potentiell stark toxisches Gas. Andererseits darf nicht übersehen werden, daß Ozon eine natürliche Komponente nicht verunreinigter Freiluft ist und niemand ernsthaft behaupten möchte, der Aufenthalt im Grünen, vor allem aber in den Bergen oder an der See, sei gesundheitsschädlich. Zudem wurde und wird Ozon wiederholt als Heilmittel angepriesen.

I. Entstehung und Vorkommen:

Unsere Frischluft enthält normalerweise immer etwas O_3 aus natürlichen Quellen: in der Stratosphäre wird durch die Wirkung der energiereichen, kurzwelligen UV-Strahlen aus normalem 2-atomigen Sauerstoff Ozon gebildet. (16) Durch vertikalen Luftaustausch, und zwar offensichtlich sowohl durch Diffusion als auch durch direkten Transport zwischen Stratosphäre und Troposphäre in dünnen, ca. 1 km dicken Schichten, den sog. ozone rivers, gelangt es in die Biosphäre. (45)

Eine weitere natürliche Quelle stellen Gewitter dar, die wahrscheinlich durch elektrische Entladung O_3 bilden. (45)

Bei Kontakt mit festen Oberflächen am Boden oder Schwebeteilchen in der Luft wird es relativ rasch - unter Ausübung seiner Oxydationswirkung - zerstört, so daß die üblichen Oberflächen-Konz. in etwa um $40 \mu g/m^3$ ($\approx 0,02$ ppm) ^{x)} zu schwanken scheinen (16).

^{x)} 1 ppm = 1 ml Ozon/1 m³ Luft;
1 ppm $\approx$ 2000 Mikrogramm/1 m³ Luft

Die tatsächliche Verteilung und Konz. des Ozons in der Außenluft ist ferner noch von einer Reihe geographischer und meteorologischer Faktoren abhängig und dementsprechend mehr oder minder großen Schwankungen unterworfen. Jedoch überschreitet dieses aus natürlichen Quellen stammende O_3 - wie aus einer amerikanischen Studie von 1971 (16) hervorgeht - nicht die Konz. von $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$, eine Konz. die von der NATIONAL AMBIENT AIR QUALITY STANDARDS als Maximal-Konz. für die Dauer von einer Stunde festgelegt wurde, welche nicht öfters als einmal jährlich überschritten werden sollte (16).

Die gleiche Studie zeigte jedoch auch, daß die meisten der von R. FANKHAUSER untersuchten Städte diese Konzentration überschritten (z.B. Rochester im Staate New York $220 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Max. Konz., bei 5,6% der Stunden über $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Dayton im Staate Ohio $230 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Max. Konz., bei 8,8% der Stunden über $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (16); Bonn und Mannheim mit Spitzenwerten von über 0,5 Milligramm je Kubikmeter für mehr als 30 Minuten (20)). Als wichtigste Quelle dieser relativ hohen Ozon-Konzentrationen dürften vor allem Auto-Auspuffgase gelten sowie die stickoxid-reichen Emissionen mancher Industrie-Anlagen. Man weiß seit geraumer Zeit, daß Ozon unter Beteiligung von bestimmten Kohlenwasserstoffen, Stickoxiden und UV-Licht durch eine photochemische Reaktion gebildet wird und somit eine bedeutsame Komponente des Photosmogs darstellt (16).

Ozon wird ferner erzeugt beim Lichtbogen-Schweißen, durch das UV-Licht von Quarz-Lampen und durch Einrichtungen, die mit hohen elektrischen Spannungen arbeiten wie Röntgenapparate, Spektrographen und elektrische Isolatoren. Im allgemeinen werden jedoch dabei nur unter besonderen Bedingungen (geschlossene Räume) höhere Konzentrationen erreicht.

Auch die moderne Luftfahrt hat sich mit dem Problem zu befassen, da bei Flügen in Höhen von über 65 000 Fuß (3) der Passagier mehr oder minder hohen Konzentrationen ausgesetzt sein kann.

In der Industrie findet Ozon aufgrund seiner starken Oxydationskraft Anwendung zum Bleichen von Fetten, Ölen, Zellstoffen, Textilien und dergleichen mehr, außerdem zur Entkeimung und Aufbereitung von Trinkwasser und Schwimmbädern. Die hierbei beschäftigten Arbeiter können unter Umständen höheren Ozon-Konzentrationen ausgesetzt sein.

II. Allgemeines zur biologischen Wirkung:

Die biologischen Effekte von atmosphärischen Ozon erscheinen auf den ersten Blick widersprüchlich: Seine Anwesenheit in der Stratosphäre wirkt wie ein Schild gegen die kurzwellige UV-Strahlung der Sonne. Es absorbiert den größten Teil dieser Strahlung, welche ansonsten genügend Intensität haben würde, um gesundheitliche Schäden hervorzurufen. Gegenteilig dazu genügen schon wenige Teile O_3 pro Million Teile Luft, um gefährliche Wirkungen auf Pflanzen und Tiere bei direktem Kontakt zur Folge zu haben (52).

Man nimmt an, daß Ozon als kraftvolles Oxydationsmittel auf molekularer Ebene sofort eine Reihe funktioneller biochemischer Gruppen oxydiert. Die Hauptwirkungen der biochemischen Schädigung scheinen die Bildung von freien Radikalen, Aldehyden, Carbonylen, und die Oxydation von Lipiden und SH-Gruppen einschließlich Disulfidbildung zu sein. Ozon reagiert sofort mit Olefinen, vor allem mit mehrfach ungesättigten Fetten, unter Bildung von instabilen Ozoniden. Deren Zerfall ruft die Bildung von toxischen, freien Radikalen, Hydroperoxiden, Aldehyde, Ketone oder Säuren hervor, welche dann den primär-toxischen Effekt von Ozon verstärken können.

Als cytotoxischen Mechanismus vermutet man eine Reaktion von Ozon mit den Phospholipid-Mizellen der Plasma-Membranen und intrazellulären Organellen, die dann Veränderungen der Membran-

Funktion verursacht. Antioxydierende Substanzen wie Vitamin E oder Zitronensäure scheinen eine gewisse Schutzwirkung zu haben (52).

III. Literaturübersicht bisheriger Versuche zur biologischen Wirksamkeit des Ozons auf Mensch und Tier

Aus den zahlreichen Experimenten an Mensch und Tier, die gerade in den letzten beiden Jahrzehnten durchgeführt wurden, geht deutlich hervor, daß Ozon sowohl einen akut-toxischen als auch einen chronisch-toxischen Effekt besitzt. Am meisten betroffen ist dabei der Respirationstrakt.

1. Tierversuche

a) Dosis letalis:

Über eine sehr alte Untersuchung wurde schon 1857 von DEWAR und MacKENDRICK berichtet (1): Das Inhalieren von ca. 4000 ppm O₃ endete innerhalb kürzester Zeit mit dem Tod der Tiere. (Um welche Tiere es sich handelte, wurde leider nicht erwähnt.)

Hundert Jahre später veröffentlichten MITTLER (51) und Mitarbeiter einen Bericht, in dem sie die Dosis letalis bei jeweils drei Stunden Expositionsdauer für Mäuse bei 12,6 ppm, Ratten bei 13,6 ppm und Meerschweinchen bei 24,7 ppm festsetzten.

Tiere, die subletalen Konzentrationen ausgesetzt wurden, entwickelten Lungenödem und Hämorrhagie (51, 63).

b) Toleranz-Entwicklung und Adaption:

Ein anderes Phänomen, das bei Einwirkung von hohen Ozon-Dosen auftritt, ist das der Toleranzentwicklung: Überlebten Mäuse und Ratten subletale O₃-Konzentrationen, konnten sie nach kurzer Erholungszeit der doppelten, sonst bei Erst-Exposition sicher

tödlichen Konzentration ausgesetzt werden, ohne die charakteristischen pulmonalen Symptome wie Lungenödem und Hämorrhagie zu entwickeln (64, 66).

Offensichtlich schützt jedoch diese erworbene Toleranz nicht vor den Folgen von Langzeit-Einwirkungen niedriger O_3 -Dosen (39), wiewohl von anderen Autoren (10, 11, 5) die Adaption als "Niedrig-Dosis"-Phänomen diskutiert wird, das über Mechanismen der Änderung der zellulären Population ablaufen soll.

c) Radiomimetische Effekte:

Etwas widersprüchliche Berichte finden sich über die radiomimetischen Eigenschaften von O_3 : Einerseits zeigten HATTORI und KATO (34) einen Schutz-Effekt von Ozon (1 ppm/1 h; 2 ppm/0,5 h) gegen Ganz-Körper-Röntgen-Bestrahlung bei Mäusen, andererseits liegen viele Untersuchungen vor, die über Zellveränderungen wie Chromosomen-Brüche, Zerreißen der Kernmembran berichten, welche weitgehend identisch sind mit solchen, die durch Röntgen-Strahlen hervorgerufen werden (17, 6).

d) Pulmonale Effekte:

d) Lungenfunktionsänderungen: bei Kurzzeitversuchen:

Kurzzeit-Expositionen verursachen vor allen Dingen Lungenfunktionsveränderungen. So berichten MURPHY und Mitarbeiter (53) von einer Zunahme der Atemfrequenz und Abnahme des Total-Volumens bei Meerschweinchen, die 6 Stunden oder weniger einer O_3 -Konzentration von 0,34 bis 2,0 ppm ausgesetzt waren. Eine Zunahme des Atemwiderstands fanden WATANABE und Mitarbeiter (69), die narkotisierte Katzen mechanisch über eine Tracheal-Kanüle mit 0,5 bis 1,0 ppm O_3 für durchschnittlich 4,6 Stunden beatmeten. Ähnliches berichten auch MURPHY (53), SWANN und BALCHUM (69). Inhalation von 50 ppm O_3 für 5 Minuten kann bei Hunden vorübergehend Atemstillstand erzeugen, der dann von schneller, oberflächlicher Atmung bei abnehmender Lungen-Compliance und zunehmendem Atemwiderstand abgelöst wird (70).

β) Pulmonale Abwehrmechanismen:

Ozon-Exposition scheint offensichtlich die Widerstandsfähigkeit gegen pulmonale Infektionen herabzusetzen. Miere, die nach Ozon-Exposition mit *Klebsiella pneumoniae* (50) infiziert wurden, zeigten eine signifikant erhöhte Mortalität im Vergleich zu den Kontrollgruppen. Ähnliche Ergebnisse erbrachten Infektionen mit Staphylokokken, Streptokokken (51, 56) und *Mycobacterium tuberculosis* (39).

GOLDSTEIN e.a. (26) waren der Ansicht, daß Ozon-Exposition nach erfolgter Infektion eine progressive Abnahme der pulmonalen bakteriziden Aktivität nach sich ziehe, die sie als eine Schädigung der alveolaren Makrophagen interpretierten, während Ozon-Exposition vor der Infektion vor allen Dingen die mechanische Entfernung durch den mucociliären Strom unterbinde.

γ) Langzeit-Effekte:

Langzeit-Expositionen bewirken morphologische Veränderungen der Lungen, die vor allen Dingen durch epitheliale Proliferation und interstitielle Fibrosierung gekennzeichnet ist.

FREEMAN e.a. (21) untersuchte histologisch die Lungen von Hunden, die 1 bis 3 ppm O_3 8, 16 oder 24 Stunden pro Tag für die Dauer von 18 Monaten ausgesetzt waren. Er stellte dabei fest, daß sich mit zunehmender Dosis Makrophagen und fibröse Elemente zeigten. Zusätzlich beobachtete er eine Verdickung der Bronchiolen-Wände und - bei der höchsten angewandten Konzentration - ihre Infiltration mit Lymphocyten, Plasma-Zellen und Fibroblasten sowie eine schuppige Metaplasie der Kuboidal-Zellen mit gelegentlicher Hyperplasie.

GROSS e.a. (30) führten ähnliche Versuche mit Hamster (1 ppm für 6 Std./die an 268 nicht aufeinanderfolgenden Tagen) und Kaninchen (15 - 55 ppm O_3 für 1 Std./Woche für 49 Wochen) durch. Sie fanden einmal deutliche Zeichen der chronischen

Lungenentzündung sowie destruktiver Prozesse, die eine Folge einer Kontraktion von Alveolar-Septen waren. Sie diskutierten diese Phänomen als eine mögliche Zwischenstufe auf der Entwicklung zum Emphysem.

BRUCH (8) studierte die Langzeitwirkung (10 Monate 0,86 ppm O₃) an Mäusen und fand neben den beschriebenen Effekten zahlreiche Lipofusceingranula, verhältnismäßig wenig Mitochondrien sowie deutliche Hyperplasie der Clara-Zellen. Letztere fielen auch WERTHAMER und PENHA (72) bei ihren Untersuchungen auf, vor allem weil diese, im Gegensatz zu allen anderen Effekten, sich nicht nach 120 Ozon-freien Tagen zurückbildeten und den Verdacht aufkommen ließen, Ozon könnte als Kokarzinogen wirken.

Wesentlich aussagekräftiger in Bezug auf mögliche Ozon-Wirkungen auf den Menschen sind wohl die Versuche von DUNGWORTH e.a. (14) mit Affen. Er fand nach 7-tägiger Exposition bei O₃-Konzentrationen von 0, 2 bis 0,8 ppm, daß die respiratorischen Bronchiolen am meisten geschädigt wurden. Die Schädigung äußerte sich je nach Dosis in entzündlichen Reaktionen mit Exsudat und Invasion von Makrophagen, Neutrophilen und Eosinophilen sowie Hyperplasie, Hypertrophie, degenerativ zytoplasmatische Veränderungen und Nekrosen. Der Grad der Schädigung nahm dosisabhängig von proximal nach distal ab: Bei 0,2 ppm waren nur die proximalen Bronchiolen betroffen, während bei 0,8 ppm auch noch die Alveolen leicht geschädigt wurden.

e) Kardiale Effekte:

Erstmals über kardiale Effekte berichteten - soweit mir bekannt - 1913 JORDAN und CARLSON (63), nämlich eine Abnahme des Karotis-Drucks und der Herzfrequenz bei Ozon-exponierten Hunden. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen 1971 auch VAUGHAN e.a. (70): leichte Hypotonie und Bradykardie bei narkotisierten, tracheostomierten Hunden, Effekte, die einer Stimulierung des Vagus durch O₃ zugeschrieben werden.

2. Untersuchungen am Menschen

a) Subjektive Symptome:

Verschiedenen Untersuchern gegenüber (4, 29, 32, 33, 39, 63, 64) gaben die jeweiligen Versuchspersonen - ganz offensichtlich in Abhängigkeit von der Höhe der O_3 -Konzentration und der individuellen Empfindlichkeit - folgende Beschwerden an: Trockenheit des Mundes und der oberen Luftwege, Reizung der Schleimhäute, substernale Schmerzen, Engegefühl der Brust, atemabhängige Thoraxschmerzen, Husten (selten mit Sputum), Kurzatmigkeit und Luftnot, Übelkeit, Benommenheit, Müdigkeit, Kopfschmerz und verändertes Geschmacksempfinden.

b) Pulmonale Effekte:

d) Kurzzeit-Versuche: (bis zu 2 Stunden mit max. 0,8 ppm O_3): YOUNG e.a. (74) fand 1964 bei 11 gesunden Personen, die mit einem Mundstück 0,6 bis 0,8 ppm O_3 einatmeten, eine Reduktion der Lungendiffusionskapazität um 25 %, eine Abnahme der Vitalkapazität und der Atemstoßkurve bei 0,75 sec (FEV 0.75). Diese Ergebnisse wurden 1972 durch BATES e.a. (2) - soweit er die oben genannten Tests durchführte - bestätigt, wobei er allerdings zusätzlich einen Teil seiner Versuchspersonen intermittierend mit ca. 50 Watt auf einem Fahrradergometer belastete. Daneben stellte er auch eine deutliche Zunahme des Atemwiderstandes fest und eine Abnahme der "elastic recoil pressure", jedoch keine Änderung der Lungen-Compliance. HAZUCHA e.a. (36), der zu ähnlichen Ergebnissen kam, zeigte, daß die Total-Kapazität der Lunge nicht signifikant verändert wurde, jedoch das Residual-Volumen zunahm. Diese Zunahme war eng verbunden mit einer Änderung der sog. Closing Capacity, ein Test, der frühzeitig auch geringfügige obstruktive Veränderungen anzeigen soll, woraus HAZUCHA einen Effekt auf die kleinen Luftwege vermutete.

HALLET (33), der seine Probanden 30 Minuten lang zwischen 1 und

Lungenentzündung sowie destruktiver Prozesse, die eine Folge einer Kontraktion von Alveolar-Septen waren. Sie diskutierten diese Phänomen als eine mögliche Zwischenstufe auf der Entwicklung zum Emphysem.

BRUCH (8) studierte die Langzeitwirkung (10 Monate 0,86 ppm O₃) an Mäusen und fand neben den beschriebenen Effekten zahlreiche Lipofusceingranula, verhältnismäßig wenig Mitochondrien sowie deutliche Hyperplasie der Clara-Zellen. Letztere fielen auch WERTHAMER und PENHA (72) bei ihren Untersuchungen auf, vor allem weil diese, im Gegensatz zu allen anderen Effekten, sich nicht nach 120 Ozon-freien Tagen zurückbildeten und den Verdacht aufkommen ließen, Ozon könnte als Kokarzinogen wirken.

Wesentlich aussagekräftiger in Bezug auf mögliche Ozon-Wirkungen auf den Menschen sind wohl die Versuche von DUNGWORTH e.a. (14) mit Affen. Er fand nach 7-tägiger Exposition bei O₃-Konzentrationen von 0, 2 bis 0,8 ppm, daß die respiratorischen Bronchiolen am meisten geschädigt wurden. Die Schädigung äußerte sich je nach Dosis in entzündlichen Reaktionen mit Exsudat und Invasion von Makrophagen, Neutrophilen und Eosinophilen sowie Hyperplasie, Hypertrophie, degenerativ zytoplasmatische Veränderungen und Nekrosen. Der Grad der Schädigung nahm dosisabhängig von proximal nach distal ab: Bei 0,2 ppm waren nur die proximalen Bronchiolen betroffen, während bei 0,8 ppm auch noch die Alveolen leicht geschädigt wurden.

e) Kardiale Effekte:

Erstmals über kardiale Effekte berichteten - soweit mir bekannt - 1913 JORDAN und CARLSON (63), nämlich eine Abnahme des Karotis-Drucks und der Herzfrequenz bei Ozon-exponierten Hunden. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen 1971 auch VAUGHAN e.a. (70): leichte Hypotonie und Bradykardie bei narkotisierten, tracheostomierten Hunden, Effekte, die einer Stimulierung des Vagus durch O₃ zugeschrieben werden.

2. Untersuchungen am Menschen

a) Subjektive Symptome:

Verschiedenen Untersuchern gegenüber (4, 29, 32, 33, 39, 63, 64) gaben die jeweiligen Versuchspersonen - ganz offensichtlich in Abhängigkeit von der Höhe der O_3 -Konzentration und der individuellen Empfindlichkeit - folgende Beschwerden an: Trockenheit des Mundes und der oberen Luftwege, Reizung der Schleimhäute, substernale Schmerzen, Engegefühl der Brust, atemabhängige Thoraxschmerzen, Husten (selten mit Sputum), Kurzatmigkeit und Luftnot, Übelkeit, Benommenheit, Müdigkeit, Kopfschmerz und verändertes Geschmacksempfinden.

b) Pulmonale Effekte:

d) Kurzzeit-Versuche: (bis zu 2 Stunden mit max. 0,8 ppm O_3): YOUNG e.a. (74) fand 1964 bei 11 gesunden Personen, die mit einem Mundstück 0,6 bis 0,8 ppm O_3 einatmeten, eine Reduktion der Lungendiffusionskapazität um 25 %, eine Abnahme der Vitalkapazität und der Atemstoßkurve bei 0,75 sec (FEV 0.75). Diese Ergebnisse wurden 1972 durch BATES e.a. (2) - soweit er die oben genannten Tests durchführte - bestätigt, wobei er allerdings zusätzlich einen Teil seiner Versuchspersonen intermittierend mit ca. 50 Watt auf einem Fahrradergometer belastete. Daneben stellte er auch eine deutliche Zunahme des Atemwiderstandes fest und eine Abnahme der "elastic recoil pressure", jedoch keine Änderung der Lungen-Compliance. HAZUCHA e.a. (36), der zu ähnlichen Ergebnissen kam, zeigte, daß die Total-Kapazität der Lunge nicht signifikant verändert wurde, jedoch das Residual-Volumen zunahm. Diese Zunahme war eng verbunden mit einer Änderung der sog. Closing Capacity, ein Test, der frühzeitig auch geringfügige obstruktive Veränderungen anzeigen soll, woraus HAZUCHA einen Effekt auf die kleinen Luftwege vermutete.

HALLET (33), der seine Probanden 30 Minuten lang zwischen 1 und

Lungenentzündung sowie destruktiver Prozesse, die eine Folge einer Kontraktion von Alveolar-Septen waren. Sie diskutierten diese Phänomen als eine mögliche Zwischenstufe auf der Entwicklung zum Emphysem.

BRUCH (8) studierte die Langzeitwirkung (10 Monate 0,86 ppm O₃) an Mäusen und fand neben den beschriebenen Effekten zahlreiche Lipofusceingranula, verhältnismäßig wenig Mitochondrien sowie deutliche Hyperplasie der Clara-Zellen. Letztere fielen auch WERTHAMER und PENHA (72) bei ihren Untersuchungen auf, vor allem weil diese, im Gegensatz zu allen anderen Effekten, sich nicht nach 120 Ozon-freien Tagen zurückbildeten und den Verdacht aufkommen ließen, Ozon könnte als Kokarzinogen wirken.

Wesentlich aussagekräftiger in Bezug auf mögliche Ozon-Wirkungen auf den Menschen sind wohl die Versuche von DUNGWORTH e.a. (14) mit Affen. Er fand nach 7-tägiger Exposition bei O₃-Konzentrationen von 0, 2 bis 0,8 ppm, daß die respiratorischen Bronchiolen am meisten geschädigt wurden. Die Schädigung äußerte sich je nach Dosis in entzündlichen Reaktionen mit Exsudat und Invasion von Makrophagen, Neutrophilen und Eosinophilen sowie Hyperplasie, Hypertrophie, degenerativ zytoplasmatische Veränderungen und Nekrosen. Der Grad der Schädigung nahm dosisabhängig von proximal nach distal ab: Bei 0,2 ppm waren nur die proximalen Bronchiolen betroffen, während bei 0,8 ppm auch noch die Alveolen leicht geschädigt wurden.

e) Kardiale Effekte:

Erstmals über kardiale Effekte berichteten - soweit mir bekannt - 1913 JORDAN und CARLSON (63), nämlich eine Abnahme des Karotis-Drucks und der Herzfrequenz bei Ozon-exponierten Hunden. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen 1971 auch VAUGHAN e.a. (70): leichte Hypotonie und Bradykardie bei narkotisierten, tracheostomierten Hunden, Effekte, die einer Stimulierung des Vagus durch O₃ zugeschrieben werden.

2. Untersuchungen am Menschen

a) Subjektive Symptome:

Verschiedenen Untersuchern gegenüber (4, 29, 32, 33, 39, 63, 64) gaben die jeweiligen Versuchspersonen - ganz offensichtlich in Abhängigkeit von der Höhe der O_3 -Konzentration und der individuellen Empfindlichkeit - folgende Beschwerden an: Trockenheit des Mundes und der oberen Luftwege, Reizung der Schleimhäute, substernale Schmerzen, Engegefühl der Brust, atemabhängige Thoraxschmerzen, Husten (selten mit Sputum), Kurzatmigkeit und Luftnot, Übelkeit, Benommenheit, Müdigkeit, Kopfschmerz und verändertes Geschmacksempfinden.

b) Pulmonale Effekte:

d) Kurzzeit-Versuche: (bis zu 2 Stunden mit max. 0,8 ppm O_3): YOUNG e.a. (74) fand 1964 bei 11 gesunden Personen, die mit einem Mundstück 0,6 bis 0,8 ppm O_3 einatmeten, eine Reduktion der Lungendiffusionskapazität um 25 %, eine Abnahme der Vitalkapazität und der Atemstoßkurve bei 0,75 sec (FEV 0.75). Diese Ergebnisse wurden 1972 durch BATES e.a. (2) - soweit er die oben genannten Tests durchführte - bestätigt, wobei er allerdings zusätzlich einen Teil seiner Versuchspersonen intermittierend mit ca. 50 Watt auf einem Fahrradergometer belastete. Daneben stellte er auch eine deutliche Zunahme des Atemwiderstandes fest und eine Abnahme der "elastic recoil pressure", jedoch keine Änderung der Lungen-Compliance. HAZUCHA e.a. (36), der zu ähnlichen Ergebnissen kam, zeigte, daß die Total-Kapazität der Lunge nicht signifikant verändert wurde, jedoch das Residual-Volumen zunahm. Diese Zunahme war eng verbunden mit einer Änderung der sog. Closing Capacity, ein Test, der frühzeitig auch geringfügige obstruktive Veränderungen anzeigen soll, woraus HAZUCHA einen Effekt auf die kleinen Luftwege vermutete.

HALLET (33), der seine Probanden 30 Minuten lang zwischen 1 und

3 ppm über ein Mundstück inhalieren ließ, fand ebenfalls eine Abnahme der ventilatorischen Größen (FEV, VC), der Diffusionskapazität und eine Zunahme der Atemfrequenz.

Auch FOLINSBEE (19), der 28 Personen nach 2 Stunden O₃-Exposition bei 0,75 ppm mit intermittierender Belastung mittels eines 3-Stufen-Ergometers überprüfte, berichtet von einer Abnahme der Diffusionskapazität für CO (= D_{LCO}), und des Atemzugvolumens, zugleich von einer Steigerung der Atemfrequenz, so daß das Atemminutenvolumen gleich blieb.

KAGAWA e.a. (41) untersuchte die spezifische Luftweg-Leitfähigkeit (specific airway conductance), ein Maß, das umgekehrt proportional dem Atemwegswiderstand pro Volumeneinheit ist (airway resistance/volume of thoracic gas⁻¹). Eine Inhalation von 0,9 ppm O₃ über ein Mundstück für 5 Minuten während Belastung rief eine hoch signifikante Abnahme dieser Funktionsgröße hervor.

β) Langzeitversuche:

KERR's e.a. (42) Untersuchungsergebnisse, der 20 Personen für 6 Stunden 0,5 ppm O₃ aussetzte und sie zweimal für 15 Minuten mit 100 Watt belastete, stimmen mit denjenigen KAGAWA's (41) und BATE's (2) überein, findet sich aber im Widerspruch zu HALLETT (33) und YOUNG (74) mit der Feststellung, daß sich für die Diffusionskapazität keine wesentliche Änderung ergebe.

BENNETT (3) studierte die Langzeiteffekte von 0,2 ppm und 0,5 ppm O₃ an jeweils 6 Personen, die diesen Konzentrationen für 3 Stunden täglich an 6 Tagen in der Woche für 12 Wochen ausgesetzt waren, und fand für die 2. Gruppe (0,5 ppm) eine hoch signifikante Abnahme der Atemstoß-Tests (FEV 1.0), der sich nach Versuchsende wieder normalisierte. Bei keiner der beiden Gruppen traten irgendwelche Beschwerden auf, noch ließen sich röntgenologische Veränderungen feststellen.

HACKNEY (31, 32) untersuchte die Reaktion von normalen gesunden

Personen (Gruppe 1) und solchen mit einer positiven Anamnese sowohl bezüglich allergischer als auch nicht-allergischer Lungenerkrankungen (Gruppe 2) auf eine Konzentration von 0,5 ppm O_3 für 4-5 Stunden an zwei aufeinanderfolgenden Tagen. Während die erste Gruppe nahezu keine Effekte zeigte, reagierte die zweite Gruppe sofort mit einer Veränderung der Lungenfunktion und fühlte sich so krank, daß die Test-Zeit reduziert wurde.

Bei einer weiteren Untersuchungsreihe setzte HACKNEY die Gruppe 1 bei sonst gleichen Bedingungen noch zusätzlichem Stress aus, nämlich Hitze und intermittierender Belastung. Hierbei ergab sich vor allem am 2. Tag bei der Hälfte der Personen signifikante Lungenfunktionsveränderungen.

c) Weitere Effekte:

1956 beobachteten HERRMANN und HEINKE (37) eine Beeinflussung der Kalium- und Calciumkonzentration im Menschen durch künstliche Raumozonisierung von 0,015 bis 0,045 ppm O_3 und einer Einwirkzeit von 3 Stunden.

HACKNEY (31, 32) entdeckte oxydative Veränderungen in den Erythrocyten und Plasma-Enzymen.

Nach Exposition von 40 ppm für 2 Stunden reagierten menschliche Erythrocyten positiv auf Hämolyse-Teste (27).

LAGERWERFF (46) untersuchte 22 männliche und 6 weibliche Personen bei Ozon-Konzentrationen von 0,2 bis 0,5 ppm bei maximal 6 Stunden Einwirkzeit und fand (mit abnehmender Signifikanz):

- 1.) Eine beträchtliche Abnahme der Sehschärfe beim Nacht- und Dämmerungssehen;
- 2.) einen deutlichen Einfluß auf das periphere Gesichtsfeld;
- 3.) beachtliche Änderungen der extra-oculären Muskelbalance, die alle Augenmuskeln mit Ausnahme der Mm. recti superiores et inferiores betraf. (Letzterer Befund läßt auf eine neurologische Wirkung des O_3 schließen.) Die Sehschärfe für entfernte

Punkte und das Farbsehen waren nicht verändert. Zugleich schildert LAGERWERFF eine gewisse Lethargie und abnehmende Aktivität der Versuchspersonen bei den 6-stündigen Versuchen.

IV. Fragestellung

Aus der vorangegangenen Literaturübersicht geht hervor, welche komplexer und längst noch nicht genau erforschter Natur die verschiedenen Wirkungen des Ozons auf Mensch und Tier sind. Aus der Tatsache, daß heute jeder Mensch niedrigen Ozon-Konzentrationen im Smog unserer Industrielandschaften für einen mehr oder minder langen Zeitraum ausgesetzt sein kann, ergibt sich die Bedeutung der Erforschung dieses Problems für die allgemeine Volksgesundheit. Zugleich, aufgeschreckt durch die Ergebnisse der Tierversuche, wird in Fachkreisen wieder verstärkt über eine Herabsetzung des zur Zeit gültigen MAK-Wertes diskutiert. Da aber Ergebnisse von Tierexperimenten nur sehr bedingt auf den Menschen übertragbar sind, andererseits niemand - soweit mir bekannt - Langzeitstudien am Menschen mit Ozon-Konzentrationen im Bereich der maximalen Arbeitsplatz betrieben hat, versuchten wir mit unserer Versuchsanordnung diese Lücke teilweise zu füllen.

Es sollte untersucht werden, ob sich im Bereich der maximal zulässigen Arbeitsplatzkonzentration (0,1 ppm) bei einer längeren Expositionsdauer an gesunden Versuchspersonen Anzeichen für funktionelle Änderungen und physiologische wie psychosensorische Reaktionen auf den Aufenthalt in ozonhaltiger Luft finden lassen.

B) WAHL DER METHODE

I. Höhe der Ozon-Konzentration

Die Höhe der O_3 -Konzentration wurde bei 0,1 ppm festgesetzt. Die Gründe waren folgende:

1. Ozon gilt als potentiell stark toxische Substanz. Der in Deutschland geltende Grenzwert der maximalen Arbeitsplatzkonzentration (MAK) liegt derzeit bei 0,1 ppm und sollte nicht überschritten werden.
2. Im eigenen Institut lagen bereits die Meßergebnisse von Versuchen mit gleicher O_3 -Konzentration vor. Es sollte ein Vergleich der Verlaufsdaten möglich sein.
3. Die O_3 -Konzentration sollte in einem Bereich liegen, der auch in der "natürlichen" Außenluft gelegentlich anzutreffen ist, dem also jeder ausgesetzt sein kann.

II. Dauer der Exposition

Ausgehend von der Überlegung, daß sich bei den am eigenen Institut ebenfalls mit Menschen durchgeführten Versuchen in derselben O_3 -Konzentration bei bis zu maximal 48 Stunden Expositionsdauer keine sicheren Ozon-Wirkungen nachweisen ließen, sollte die Expositionsdauer vorsichtig erhöht werden. Unter Berücksichtigung des modifizierten Schemas THORP/LAGERWERFF (siehe Abb. 1) über die Ozonwirkungen, wonach zumindest in gewissen Bereichen das Produkt aus Konzentration und Expositionsdauer angenähert als Dosisgröße gelten kann, setzten wir (auch aus organisatorischen Gründen) die Expositionsdauer auf 5 Tage fest. Der Versuch begann Montag 8 Uhr und endete Freitag 18 Uhr. Das entspricht einer ununterbrochenen Versuchsdauer von 106 Stunden. Nach dem schon erwähnten Schema bewegten wir uns damit

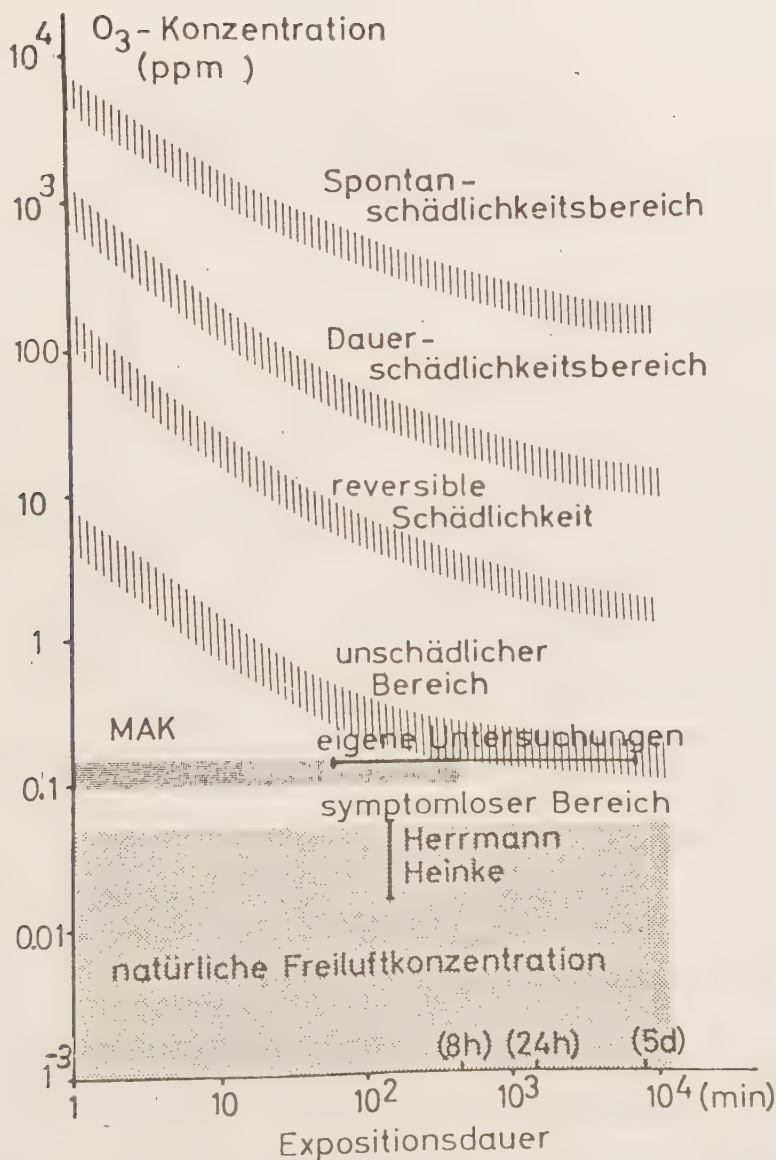


Abbildung 1

modifiziertes Schema nach THORP/LAGERWERFF

in einem Bereich, der gerade noch als nicht toxisch galt, knapp unterhalb der sogenannten Reizgrenze (siehe Abb. 1).

III. Versuchspersonen

Als Versuchspersonen stellten sich uns sechs gesunde Studenten, darunter drei weibliche, im Alter von 20 bis 30 Jahren gegen Vergütung des Zeitaufwandes zur Verfügung.

Zu Beginn der einzelnen Versuchsreihen wurde durch eine kurze klinische Untersuchung und anamnestische Befragung der Gesundheitszustand der Versuchspersonen festgestellt. Ferner wurde sowohl zu Anfang wie auch am Ende jeder Versuchswoche das sogenannte kleine Blutbild (Erythrocyten, Leukocyten, Hämoglobin, Hämatokrit) kontrolliert, es wies bei keiner der Versuchspersonen einen pathologischen Wert auf.

Da die Klimakammer bei einem längeren Aufenthalt nur maximal drei Personen genügend Raum bietet, wurden die Versuchspersonen aufgeteilt, nämlich in eine männliche und eine weibliche Versuchsgruppe.

IV. Versuchsraum

Zur Durchführung dieser Versuchsreihen stand uns die Klimakammer des Instituts für medizinische Balneologie und Klimatologie der Universität München zur Verfügung (siehe Abb. 2).

Es handelte sich dabei um einen Raum mit 20 m^2 Grundfläche und 55 m^3 Rauminhalt, der speziell zur Simulation von Wetterabläufen gebaut wurde und dessen temperierte Wände gegen elektrische Milieuwirkung weitgehend abschirmen. Ferner lassen sich noch Lufttemperatur und Luftfeuchte variieren und protokollieren,

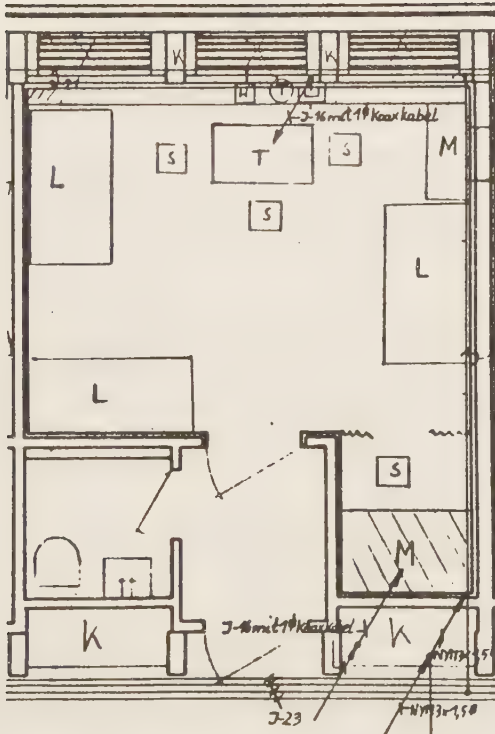


Abb.2 : Grundriß des Versuchsraums

K = Kanäle für Be- und Entlüftung

M = Meßgeräte

L = zusammenklappbare Liegen

S = Sitzgelegenheiten

Man erkennt unten links die Naßzelle
und die Luftschleuse

die für die Dauer des Versuchs im Behaglichkeitsbereich konstant gehalten wurden. Die Tagesbeleuchtung erfolgte durch Xenonhochdrucklampen und Anpassungsfilter, die an den Fensterattrappen montiert sind und den Eindruck erwecken, "draußen" scheine die Sonne. Die Helligkeit der Lampen war von den Versuchspersonen nach eigenem Wunsch stufenlos regulierbar.

Die Luftzufuhr war in drei Stufen einstellbar und erfolgte über regelmäßig an der Decke der Kammer angeordnete Schlitze. Sie belief sich während dieser Untersuchungen auf $600 \text{ m}^3/\text{Std.}$ und enthielt einen Frischluftanteil von 20 %. Die gesamte Zuluft lief durch einen Aktivkohlefilter, der aus dem Gemisch von Rück- und Frischluft Ozon und andere gas- und partikelförmige Luftbeimengungen beseitigte.

In den Zuluftstrom mit eingeschlossen war auch noch eine Toilette mit Waschgelegenheit, wodurch ein längerer Aufenthalt in der Klimakammer ermöglicht wurde.

Die Klimakammer konnte nur durch eine vorgeschaltete Schleuse betreten werden. Damit konnten nennenswerte Veränderungen der Lufteigenschaft im Raum bei Betreten der Kammer vermieden werden.

Durch ein Doppelfenster und eine Kabelschleuse war die Versuchskammer mit einem Nebenraum verbunden.

V. Ozonisierungsanlage

1. Ozonisierung (Abb. 3):

Zur Ozon-Erzeugung wurden zwei nach dem Prinzip der stillen Entladung arbeitende Ozongeneratoren verwendet, die an den Zuluftkanal der Klimakammer hinter dem Aktivkohlefilter angeschlossen waren. Dabei wurde die Spannung des leistungsfähigen Generators so gewählt, daß er eine konstante Ozonkonzentration erzeugte, die etwa unterhalb des geforderten Sollwertes

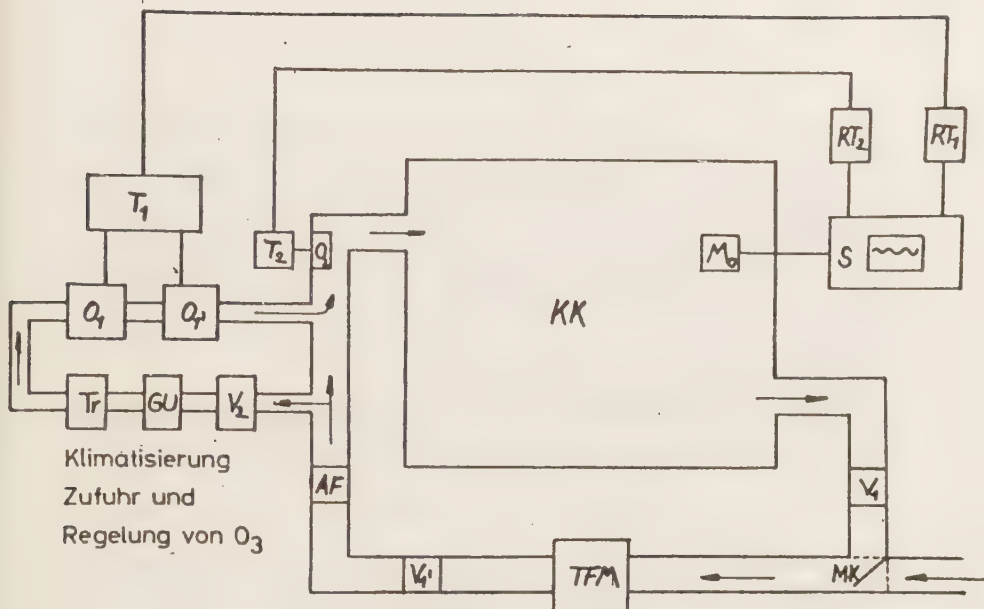


Abb.3 : KK = Klimakammer M_0 = Ozonmeßgerät
 S = Schreiber mit Begrenzungsschaltern für RT_1 und RT_2
 RT_1 bzw. RT_2 = Regeltransformatoren für die Ozon
 generatoren O_1 , O_1' und O_2
 T_1 , T_2 = Hochspannungstransformatoren für O_1 , O_1' , O_2
 V_1 = Abluftventilator V_1' = Zuluftventilator
 MK = Mischluftklappe zwischen Rück- und Frischluft
 TFM = Anlage zur Einstellung des Temperatur-Feuchte-
 Milieus
 AF = Aktivkohlefilter
 V_2 = Ventilator zur Einstellung des Luftdurchsatzes
 durch die Ozonröhren O_1 und O_1'
 GU = Gasuhr zur Durchsatzmessung
 TR = Lufttrocknung

lag. Der zweite, kleinere Generator lieferte die zur gewünschten Konzentration fehlende Menge im Überschuß. Dieser wurde zur automatischen Regelung durch das Ozonmeßgerät benutzt: Durch einen Grenzwertschalter wurde die Stromzufuhr des kleineren Generators unterbrochen, sobald das Niveau der Sollwertkonzentration erreicht war. Auf diese Weise konnte die vorgesehene Ozonkonzentration von 0,1 ppm über mehrere Tage ohne nennenswerte Schwankungen aufrechterhalten werden.

Um die Ausbeute der Ozongeneratoren konstant zu halten, wurde die ihnen zugeführte Luft über einen Silicagel-Trockenturm entfeuchtet.

2. Ozonmessung

Zur Messung der O_3 -Konzentration verwendeten wir ein Gerät Type 724-2 der Firma MAST. Es ist so konstruiert, daß es das von Ozon in einer neutral gepufferten Jod-Brom-Kalium-Lösung freigesetzte Jod elektrometrisch mißt. Zugleich diente dieses Gerät auch der automatischen Regelung der O_3 -Konzentration mittels des schon erwähnten Grenzwertschalters, der am Schreiber des Geräts befestigt war.

Die Eichung des MAST-Meßgerätes erfolgte durch Anschluß an den laufend überprüften Ozongenerator am Observatorium Hohenpeißenberg des Deutschen Wetterdienstes. Kleinere Schwankungen, die bei den Kontrollen auftraten, wurden rechnerisch berücksichtigt.

3. Kontrollen von unerwünschten Nebenprodukten

Stickoxyde:

Die zur Klärung der oft aufgetretenen Behauptung, Stickoxyde könnten bei der Ozonerzeugung mittels stiller Entladungen eine wesentliche Rolle spielen, durchgeführten Vorversuche ergaben, daß auch bei einer Raumkonzentration von 0,15 ppm und damit gegenüber den späteren Versuchen erhöhten Leistung der Generatoren die gemessenen Stickoxyde kaum über dem sogenann-

ten lokalen Pegel (bis $50 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$) lagen.¹⁾

Ionisationsverhältnisse:

Mit Hilfe eines Jonometers der Firma KATHREIN wurden die Ionisationsverhältnisse im Versuchsraum gemessen. Wie die Kontrollen zeigten, bestand kein merklicher Unterschied zwischen den Versuchen mit und ohne Ozon (56).

VI. Methoden zum Registrieren der Veränderungen am Menschen bei Ozoneinwirkung

1. Forderungen an die Auswahl der Meßverfahren

Bei der Wahl der Methoden war zu berücksichtigen, daß

- a) die Ergebnisse eindeutig meßbar und reproduzierbar sein sollten;
- b) die Versuchspersonen weder über ein zulässiges Maß hinaus belästigt, noch vor allen Dingen irgendwelche Schäden davontragen durften;
- c) keine störenden Übungs- und Gewöhnungseffekte auftreten sollten;
- d) durch die instrumentelle Ausstattung und personelle Besetzung ein bestimmter Rahmen von vornherein gesetzt war.

Ferner wurden bei der Auswahl der Meßverfahren die in der Literatur gegebenen Hinweise sowie die in eigenen Versuchsreihen gewonnenen Erfahrungen (KLEINSCHMIDT, 41) verwertet. Die dabei zur Anwendung gelangten Methoden erheben nicht den Anspruch, hieb- und stichfeste Beweise der Toxizität von Ozon bzw. des Gegenteils zu erbringen. Vielmehr ist es ja immer bei der Untersuchung noch unbekannter Phänomene so, daß man sich von relativ groben Meßverfahren zu immer subtileren Methoden vor-tasten muß.

¹⁾ DFG; Luftverunreinigung in der Bundesrepublik Deutschland 1967 - 1970; Kommission zur Erforschung der Luftverunreinigung; Mitteilung XV, S. 28

2. Beschreibung der gewählten Testverfahren

Vorbemerkung: Trotz der oben genannten Einschränkungen war das Testprogramm so umfangreich, daß eine ordnungsgemäße praktische Durchführung nur durch die Zusammenarbeit von zwei Doktoranden gewährleistet war. Dabei übernahm ich die Ausführung und Auswertung der Kreislauf-, Atmungs- und psychophysischen Tests, während meine Kollegin (GREGOR, 28) sich mit der Gewinnung der Blut- und Urinwerte beschäftigte.

a) ERGOMETRIE

Wir wollten versuchen, die in der Literatur geschilderten recht subjektiven Symptome wie Müdigkeit, Leistungsabfall und Konzentrationsverlust zu verifizieren. Mitunter versteckt sich dahinter eine hypotone Kreislauf-lage. Zur Beurteilung der allgemeinen körperlichen Leistungsfähigkeit, insbesondere aber des Herz-Kreislaufsystems hat sich in den letzten Jahren an fast allen großen Kreislaufzentren die Ergometrie durchgesetzt.

b) LUNGENFUNKTIONSTEST (FEV_1)

Aufgrund der zahlreichen Hinweise in der Literatur war es klar, daß eine Lungenfunktionsprüfung in ein abgerundetes Programm gehörte. Eine Ganz-Körper-Plethysmographie überschritt unsere personellen und instrumentellen Möglichkeiten. Aus diesem Grunde, aber auch um Vergleiche mit bisher vorliegenden Ergebnissen zu ermöglichen, entschieden wir uns für den Tiffeneau-Test, das heißt, für die Messung des forcierten expiratorischen Volumens nach 1 Sekunde ($=FEV_1$).

c) PSYCHOPHYSISCHE TESTE

Um auch psychophysische Funktionen, mit denen man an unserem Institut bei Langzeitversuchen über die Wirkungen verschiedener klimatischer Reize Erfahrungen gesammelt hat, zu erfassen als auch den in verschiedenen anderen Untersuchungen geschilderten subjektiven Symptomen (Ermüdung, verringertes Konzentrationsvermögen, Lethargie, Depressionen u.s.w.) nachzugehen,

nahmen wir folgende psychophysische Tests in unser Versuchsprogramm auf:

- 1.) optische Reaktionszeit
- 2.) Flimmerverschmelzungsfrequenz
- 3.) Farbtaste (Farbwahl und Farberinnerung)
- 4.) Befindlichkeitsprotokoll

C) DURCHFÜHRUNG DER EXPERIMENTELLEN UNTERSUCHUNG

I. Ozonversuch, Kontrollversuch

Jede Gruppe hatte zwei identische Versuchsabläufe zu absolvieren, die sich über die Dauer von jeweils 106 Stunden (= 5 Tage, nämlich Montag bis Freitag) erstreckten. Dabei wurde aus organisatorischen und technischen Gründen so vorgegangen, daß zunächst der Kontroll-Versuch durchgeführt wurde und anschließend, für die Probanden nach einer Woche Zwischenraum, das gleiche Versuchsprogramm in ozonreicher Luft (Konzentration = 0,1 ppm) wiederholt wurde. Die Versuchspersonen waren dabei nicht über die Reihenfolge der Versuche (Kontroll-Versuch - Ozon-Versuch) unterrichtet. Um diese Unvoreingenommenheit nicht zu nehmen, wurde in der "Ozon-Woche" die gewünschte Konzentration langsam in etwa 30 Minuten eingestellt, wodurch - wie in früheren Versuchen bewiesen (KLEINSCHMIDT, 43) eine Täuschung der Probanden möglich ist.

II. Zeitplan

Der zeitliche Ablauf des Programms eines Versuchstages sah aus wie folgt:

- 8^h Blutabnahme zur Bestimmung von Hämatokrit, Erythrocyten,
Hämoglobin und Elektrolyte
Reaktionszeittest
1. Urinprobe zur Bestimmung von HMMS und Kreatinin
- 9^h Frühstück
- 10^h Ergometrie
Lungenfunktionstest (FEV₁)
Farbteste (Farbwahl, Farbwiedererkennung)
Flimmerverschmelzungsfrequenz
Reaktionszeittest
- 11^h 2. Urinprobe
- 12^h Befindlichkeitsprotokoll
Flimmerverschmelzungsfrequenz
- 13^h Mittagessen
- 14^h Flimmerverschmelzungsfrequenz
Farbteste (Farbwahl, Farbwiedererkennung)
Reaktionszeittest
- 15^h 3. Urinprobe
- 16^h 2. Blutabnahme
Ergometrie
Lungenfunktionstest (FEV₁)
Farbteste (Farbwahl, Farbwiedererkennung)
Flimmerverschmelzungsfrequenz
- 18^h 4. Urinprobe
Befindlichkeitsprotokoll
Flimmerverschmelzungsfrequenz
Reaktionszeittest
- 19^h Abendessen

Wir bemühten uns, diesen Plan exakt einzuhalten, um so durch die Schaffung gleicher Ausgangsbedingungen auch den tageszeitlichen Vergleich der Ergebnisse zu ermöglichen.

III. Betreuung der Versuchspersonen

Die Betreuung der Probanden wurde allein von den Doktoranden übernommen. Nur sie und der Versuchsleiter durften die Klimakammer betreten. Den Versuchspersonen war es nicht gestattet, während der Versuchsdauer den Raum zu verlassen. Über ein Sichtfenster und eine Sprechanlage waren sie Tag und Nacht mit uns in Verbindung. Ferner standen ihnen Telefon, Funk und Fernsehen zur Verfügung.

Um irgendwelche Einflüsse auf die Untersuchungen so gering wie möglich zu halten, war die Verpflegung ziemlich monoton. Der Speiseplan sah jeden Tag wie folgt aus:

Frühstück: Kaffee, Zucker, Milch, Brot, Butter, Marmelade, Käseaufschnitt und Eier

Mittagessen: Dosengoulasch, Nudeln und Orangen

Abendessen: Brot, Butter, Quark, Käseaufschnitt und Getränke.

Die Speisen wurden von uns selbst zubereitet.

IV. Gewinnung der Meßergebnisse

1. Ergometrie

Vorbemerkung:

Bei der Ergometrie werden die physikalischen Leistungen des Körpers in mkp/sec bzw. Watt gemessen ($1 \text{ mkp/sec} = 9,81 \text{ Watt} \approx 10 \text{ Watt}$).

Unter standardisierten Bedingungen hat sich die Ergometrie als eine relativ genaue, gut dosierbare Untersuchungsmethode erwiesen, die vor allen Dingen den Vorteil hat, daß ihre Ergebnisse vergleichbar und reproduzierbar sind.

Die biologische Leistung am Ergometer und ihr Wirkungsgrad werden bedingt

- von der Drehzahl, Kurbelhöhe und Kurbellänge
- von der Anwendung von Hand- bzw. Fußkurbelarbeit und der Körperlage bei der Leistung
- von der individuell verschiedenen Bewegungsökonomie
- von konstitutionellen Faktoren, Alter und Geschlecht
- von der augenblicklichen physischen und psychischen Kondition, die vom Trainingszustand, der Lebens- und Arbeitsverhältnisse, der Ernährung u.ä. bedingt wird
- von der Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck und andere Wetter- und Klimafaktoren
- Tages- und Nachtzeit.

In der Literatur werden verschiedene Formen der Belastung beschrieben wie gleichbleibende Dauerbelastung und ansteigende Belastung nach verschieden langen Zeitintervallen mit und ohne Erreichen der maximalen Leistung.

Bei der Frage, welche Form im Hinblick auf die Zielsetzung des Experiments am sinnvollsten sei, waren folgende Überlegungen wichtig:

Die Art der Belastung sollte

- a) vor allen Dingen Veränderungen der Kreislauffunktion zeigen können,
- b) auf keinen Fall die Möglichkeit einer Schädigung der Versuchspersonen beinhalten,
- c) von der muskulären Leistungsfähigkeit der jeweiligen Versuchsperson nicht beeinflusst werden,
- d) Trainingseffekte weitgehend vermeiden,
- e) im Rahmen der bestehenden Möglichkeiten gut durchführbar sein.

Unter Berücksichtigung all dieser Forderungen schien eine sub-maximale Belastung mit 125 Watt bei den männlichen, 80 Watt bei

den weiblichen Versuchspersonen für die Dauer von sechs Minuten am besten geeignet zu sein.

Methodik:

Zur Durchführung der Ergometrie stand uns ein mechanisch gebremstes Fahrrad-Ergometer der Fa. WILKEN zur Verfügung, das von ÅSTRAND mit der Fa. MONARK (Stockholm) entwickelt wurde. Zur Bremsung des Schwungrades dient ein Bremsriemen, der den größten Teil des Schwungrades umfaßt. Er ist an der Drehachse des aus Pendeltrommel, Pendelarm und Pendelgewicht zusammengesetzten Pendels der Pendelwaage befestigt. Das Pendel hängt im Ruhezustand senkrecht und wird bei Zug am Bremsriemen ausgelenkt. Die Auslenkung und damit die Zugkraft ist an der in Kilopond und Newton geeichten Skala ablesbar.

Den Blutdruck bestimmten wir mit einem Sphygmomanometer nach RIVA ROCCI, einer 15 cm breiten Druckmanschette nach PECKLINGHAUSEN und einem Schlauchstetoskop unter Anwendung der Auskultationsmethode nach KOROTKOW.

Die Ergometrie wurde zweimal täglich durchgeführt, nämlich um 10 Uhr und um 16 Uhr, in genügend großem Abstand zu den Mahlzeiten, um daraus resultierende Schwankungen möglichst weitgehend auszuschließen.

Versuchsdurchführung:

Zunächst wurde im Sitzen der Blutdruck (Ruhewert) sowie die Herzfrequenz durch Palpation der Art. radialis der jeweiligen Versuchsperson bestimmt. Anschließend bestieg der Proband das Fahrrad-Ergometer, welches so eingestellt war, daß sich für die männlichen Versuchspersonen eine Leistung von 125 Watt, die weiblichen Versuchspersonen eine Leistung von 80 Watt ergab. Diese Leistung war - wie schon erwähnt - für die Dauer von sechs Minuten zu erbringen, während der jede Minute die Pulsfrequenz durch Palpation der Art. radialis registriert wurde. In der anschließenden Erholungsphase wurden für weitere fünf

Minuten ebenfalls im minütlichen Abstand Blutdruck und Herzfrequenz registriert.

2. TIFFENEAU-TEST

Vorbemerkung:

In seiner Dissertation über Analyse und Aussagekraft des Atemspitzenstoßtests weist H. RENZ darauf hin, daß der Tiffeneau-Test ein zwar mit Mängeln behafteter, jedoch für die klinische Lungenfunktionsprüfung durchaus brauchbarer Test ist, der es erlaubt, über eine vorliegende Lungenfunktionsstörung qualitative und quantitative Aussagen zu machen.

Mit dem Tiffeneau-Test erfaßt man in erster Linie die expiratorische Förderleistung pro Zeiteinheit, d.h. die Luftmenge, die nach maximaler Inspiration innerhalb einer bestimmten Zeit forciert ausgeatmet werden kann (25).

Von VOLHARD wurde erstmals darauf hingewiesen, daß der Emphysematiker eine längere Expirationszeit hat als der Lungengesunde. Diese zunächst am HUTCHINSON-Spirometer registrierte Tatsache wurde von TIFFENEAU und PINELLI spiographisch bestätigt und dabei auf ganz bestimmte Beziehungen zur Vitalkapazität hingewiesen.

Die Prüfung erhält ihr besonderes Gewicht, weil sie ohne großen personellen und apparativen Aufwand eine globale Aussage über die Weite der Luftwege bzw. über Atemwiderstände im Bronchialsystem sowie der Elastizität der Lungen, die Beweglichkeit des Thorax und die Kraft der Atemmuskulatur gestattet (25).

Methode:

Zur Gewinnung der Atemstoßkurve wurde der VITALOGRAPH der Fa. WILKEN verwandt. Es handelt sich dabei um ein Keilbalg-Schreibspirometer mit Eichzertifikat, dessen Kymograph mit großer Geschwindigkeit abläuft.

Versuchsdurchführung:

Die Versuchsperson erhielt die Anweisung nach maximaler Inspiration so schnell und vollständig wie möglich in das Mundstück des Vitalographen zu expirieren. Auf einem Eichzertifikat wurde der genaue zeitliche Verlauf des Expirationsvolumens von Beginn der Expiration an exakt aufgezeichnet. Der Versuch wurde anschließend noch zweimal durchgeführt, so daß pro Meßzeit drei Vitalogramme von jeder Versuchsperson vorlagen. Es wurde für jede Kurve aus dem absoluten 1-sec-Volumen und der Maximalkapazität das relative 1-sec-Volumen bestimmt, das ist das nach einer Sekunde ausgeatmete Volumen in Prozenten der gemessenen Maximalkapazität.

3. Reaktionszeit

Vorbemerkung:

Wie DENZINGER (12) in seiner Dissertation ausführt, ist ein Reaktionsversuch ein Experiment, bei welchem die Versuchsperson als Reagent einen bestimmten Sinnesreiz, das Reaktionsmotiv, sofort mit einer Bewegung willkürlicher Muskeln z.B. der rechten Hand oder des Sprachorgans zu beantworten hat. Die Zeit, die dabei zwischen dem Motivreiz und der Bewegung verstreicht, wird als Reaktionszeit definiert.

Sie setzt sich additiv aus zwei Komponenten zusammen, der sensorischen und der motorischen. Die erst genannte ist die Zeit, die für die bewußte Wahrnehmung benötigt wird und folglich von der Art des Reizes (optischer, akustischer Reiz, Temperatur-Reiz u. ähnliches) bzw. dem Ablauf der physiologisch-chemischen Vorgänge im entsprechenden Rezeptor-Organ (Auge, Ohr, Tast-, Geruch-, Geschmacksorgane) und deren Weiterleitung im Zentralnervensystem abhängig ist.

Die zweite Komponente wird bestimmt durch die Fortpflanzung der Erregung in den efferenten Nerven zum motorischen Erfolgsorgan und die Kontraktion der angesprochenen Muskulatur.

Bau des Meßgeräts:

Im Bioklimaraum befand sich ein Reaktionspult mit einer Reaktionstaste (Morsetaste) und einer Signallampe (Leuchtdiode), die vom Nebenraum aus durch Druck auf die Signaltaste zum Aufleuchten gebracht werden konnte. Mit dem Aufleuchten der Signallampe wurde die ebenfalls im Nebenraum befindliche elektronische Stoppuhr in Bewegung gesetzt, die nur durch Druck auf die Reaktionstaste abgestoppt werden konnte. Die Reaktionszeit wurde auf 0,001 sec genau gemessen und von der Meßapparatur automatisch ausgedruckt (Abb. 4).

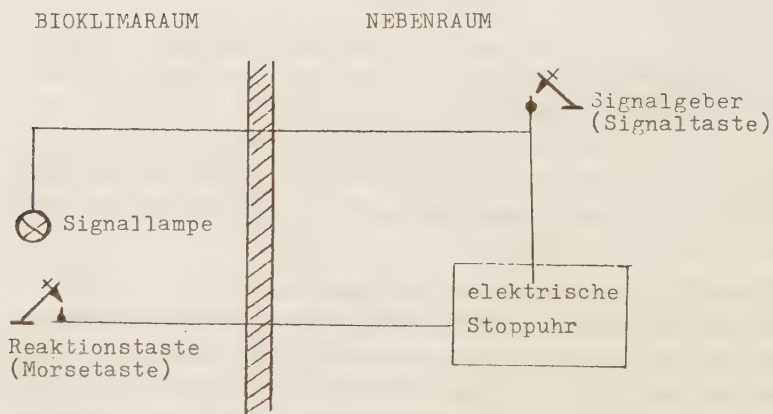


Abbildung 4

Schema zur Reaktionszeitmessung

Versuchsdurchführung:

Die Versuchsperson saß reaktionsbereit vor der Morsetaste, die beim Aufleuchten der Leuchtdiode möglichst schnell zu betätigen war. Die Zeitabstände (1 - 10 sec) zwischen den einzelnen Lichtsignalen wurden von dem im Nebenraum sitzenden Versuchsleiter nach einer Zufallstabelle vorgegeben. Insgesamt wurden für jede Versuchsperson pro Meßzeit jeweils 8 Reaktionsversuche durchgeführt. Die jeweils höchste und niedrigste Reaktionszeit wurde bei der anschließenden Auswertung verworfen, um zu große Verzerrungen durch "Ausreißer" zu vermeiden.

4. Farbwahl- und Farberinnerungstest

Vorbemerkung:

Die Farbenpsychologie verwendet seit geraumer Zeit Farbenteste, bei denen der Proband aus einer Anzahl von Farben sowohl die ihm sympathischste Farbe als auch diejenige seiner größten Abneigung auswählt. Untersuchungen (23, 62) haben gezeigt, daß zwischen der Farbwahl und der psychoseelischen Situation des Probanden gesicherte, enge Beziehungen bestehen. So soll z.B. die Wahl des dunklen Blau Ausdruck einer vagotonen Reaktionslage sein.

Uns ging es freilich bei der Durchführung der Farbteste weniger darum, den jeweiligen vegetativen und psychischen Zustand der Probanden herauszufinden, als vielmehr durch diese doch recht einfache Methode mögliche Änderungen der Gemütslage, die durch die Einatmung von Ozon hervorgerufen werden, aufzeigen zu können.

Methode:

Für den Farberinnerungs- und Farbwahltest wurde ein von MAGYAROSY, DIRNAGL u. SCHAPPLER entwickeltes Farbgerät benutzt (60).

Dieses Gerät enthält eine Glühbirne, die durch einen, auf einen drehbaren Schlitten befestigten Farbfilter Licht in

eine ULBRICHT-Kugel wirft. Mittels eines 2 x 3 cm großen Fensters kann man die jeweils eingestellte Farbe in der Äquatorebene der Kugel sehen. Der Filter besteht aus 8 verschiedenen, in Anlehnung an den LÜSCHER-Test (62) ausgewählten Farbfolien, die auf einen Objektträger entsprechend dem Farbspektrum vom Rot- über Grün- und Blaubereich angeordnet sind. Da der Lichtstrahl immer mindestens durch zwei der Folien geht, ändert sich durch Drehen des Filterschlittens das Verhältnis der Farbkomponenten fortlaufend, so daß somit viele Grund- und Zwischenfarben stufenlos einstellbar sind. Die eingestellte Farbe entspricht einem genau definierten Skalenteil einer Meßuhr und liegt je nach Stellung des Filterschlittens zwischen 0 (rot) und 5000 (blau). Eine Sichtblende sorgte dafür, daß nur der Versuchsleiter die Meßuhr ablesen konnte.

Versuchsdurchführung:

Als "Farberinnerungswert" wurde ein kräftiges Grün gewählt, das einer Schlittenstellung bei 3000 entsprach. Zu Beginn des Aufenthalts in der Klimakammer war diese Farbe - ohne Angabe der Skalenteile - für ca. 1 Minute lang jedem Probanden gezeigt worden.

Der Proband wurde aufgefordert, sich in Augenhöhe des Fensters vor das Farbmischgerät zu setzen, das sich in einer abgedunkelten Ecke des Versuchsraumes befand. Durch Drehen der Schraube mußte er nun den grünen Farbton nach seiner Erinnerung einstellen. Im Anschluß daran wählte der Proband aus allen möglichen Farbeinstellungen diejenige aus, die ihm gerade die angenehmste schien.

5. Flimmerverschmelzungsfrequenz

Vorbemerkung:

Bietet man dem Auge eine Reihe kurz dauernder, periodisch aufeinanderfolgende Lichtreize an, so werden diese - solange die Frequenz dieser Folge klein bleibt - getrennt voneinander emp-

funden. Mit steigender Frequenz geht diese Empfindung zuerst in ein Flattern, dann in ein Flimmern über, bis schließlich - bei noch rascherer Reizfolge - das Licht kontinuierlich zu sein scheint. Diese Frequenz, die sich mit großer Genauigkeit bestimmen läßt, wird als Flimmerverschmelzungsfrequenz definiert.

Die Helligkeit des intermittierenden Lichtes oberhalb der Flimmerverschmelzungsfrequenz ist durch das TALBOT-PLATEAU-sche Gesetz bestimmt: Rasch aufeinanderfolgende periodische Lichtreize rufen oberhalb der Flimmergrenze die gleiche Empfindung wie ein Dauerreiz hervor, bei welchem die in den periodischen Reizen vorhandene Lichtmenge gleichmäßig über die ganze Zeit verteilt ist.

Die Höhe der Verschmelzungsfrequenz (VF) bei der normalen Versuchsperson ist von einer Reihe äußerer und innerer Faktoren abhängig und schwankt deshalb in weiten Grenzen. Folgende Faktoren haben wesentlichen Einfluß auf die Höhe der Flimmerverschmelzungsfrequenz: die Intensität und Form des Lichtreizes, der Ort der Netzhautreizung (Zentrum oder Peripherie), die Größe des Reizfeldes, der Adaptionszustand des Beobachters und der Erregungszustand des gesamten Nervensystems. Refraktionsanomalien und Trübungen der brechenden Medien haben nur bei sehr starker Ausprägung einen senkenden Einfluß auf die VF, ebenso Schielamblyopsien.

Das Phänomen der Verschmelzung ist noch nicht endgültig geklärt. Nach Ansicht der meisten Autoren (44, 61, 47) findet sie in der Netzhaut statt. Wie aber KLEBERGER (44) zeigte, haben Netz- und Aderhauterkrankungen, nur wenn sie die Macula genügend ergreifen, eine mäßige bis mittlere Senkung der VF zur Folge, während Sehnerven- und Sehbahnaffektionen eine weit stärkere Wirkung auf die VF haben.

Der Flimmerverschmelzungstest ist also eine besondere Art der Lichtsinnprüfung, die vor allen Dingen über neurophysiologische Veränderungen des Sehorgans Aufschluß gibt.

Methodik:

Zur Durchführung dieses Versuchs stand ein Versuchsapparat zur Verfügung, dessen wesentlichster Bestandteil ein modifizierter Frequenzgenerator EXACT ELECTRONICS M 100 war. An den Ausgang dieses Generators waren zwei Leuchtdioden angeschlossen, die auf der Innenseite der Rückwand eines geschlossenen Gehäuses befestigt waren. Auf dessen Vorderseite befand sich eine runde Öffnung (ca. 10 cm d), durch welche man die Leuchtdioden betrachten konnte.

Durch Betätigen eines skalierten Drehschalters konnte die Frequenz der erzeugten Rechteckimpulse des Generators so lange erhöht werden bis die Einzellichter der Dioden über Flackern und Flimmern subjektiv als Dauerlicht empfunden wurden.

Diese Frequenz, ablesbar in Skalenteilen am Potentiometer, bei der gerade subjektiv das Flimmern endete und das Dauerlicht begann, wurde als Flimmerverschmelzungsfrequenz definiert.

Die Versuchsanordnung befand sich - neben dem Farbmischgerät - in einer abgedunkelten Ecke der Klimakammer. Aus technisch-organisatorischen Gründen gab man sich mit einem gemäßigten Helladaptionszustand der VP zufrieden.

Versuchsdurchführung:

Nach Nullstellung der Skala wurde von dem Probanden die Frequenz so lange erhöht, bis er subjektiv gerade kein Flimmern mehr wahrnehmen konnte. Der eingestellte Wert, der aufgrund einer Sichtblende nur vom Versuchsleiter gesehen werden konnte, wurde anschließend registriert und in eine Liste eingetragen.

6. Befindlichkeitsprotokoll

Vorbemerkung:

Immer wieder sind in den Literatur-Übersichten (39, 46, 63) Hinweise zu finden, Ozon verursache Depressionen, wobei es mir bis jetzt noch nicht gelungen ist, eine Original-Arbeit ausfindig zu machen. JAFFE und STOKINGER zitierten in diesem Zusammenhang BINZ, der aber das Wort "Depression" im Sinne von Unterdrückung bzw. Herabsetzung der Gehirn-Aktivität gebraucht, die zur Folge hat, daß seine Versuchspersonen in eine Art Schlaf verfallen. Nur einmal gab eine Versuchsperson bei BINZ (4), der vermutlich mit einer relativ hohen Ozon-Konzentration gearbeitet hat, nach dem Erwachen aus dem Ozon-Schlaf an, er habe das "Gefühl eines gelinden Katzenjammers". Um diese und andere, häufig in der Literatur angeführten subjektiven Beschwerden wie Kopfschmerz, Atembeschwerden und ähnliche ebenfalls zu erfassen, entwarfen wir den sogenannten Stimmungsbogen.

Methodik:

Das Befindlichkeitsprotokoll (siehe Abb. 5) bestand im ersten Teil aus fünf Fragen, die die Gemütsverfassung der Probanden grob umreißen sollten und mit ja oder nein beantwortet werden konnten. (Es war dabei durchaus möglich, mehr als eine Frage zu bejahen.) Im zweiten Teil sollte noch einmal - zur besseren graphischen Vergleichbarkeit - die jeweilige Stimmungslage als Position auf einer Skala angegeben werden, die dann als Abstand in Millimeter vom Nullpunkt an gemessen und verwertet wurde (0 mm = sehr schlecht; 30 mm = weder - noch; 60 mm = optimal, könnte nicht besser sein). Dann folgten weitere fünf Fragen über mögliche Beschwerden, deren Grad bzw. Intensität ebenfalls als Position einer Skala angegeben werden konnte.

Dieser Fragebogen wurde zweimal täglich, nämlich um 12 Uhr und um 18 Uhr an die Probanden verteilt und von diesen ausgefüllt.

6063/18

Abbildung 5:

Befindlichkeitsprotokoll

Sylvia

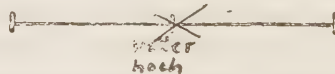
Stimmung

Wie würden Sie heute Ihre Stimmung und Gemütsverfassung entsprechend nach folgender Einteilung beschreiben?

	ja	nein
heiter, froh, lustig, aufgekratzt	...	...
gedrückt, unlustig, trübe, dumpf	...	...
durchschnittlich, ohne Besonderheiten	...	...
nervös, gereizt, erregbar	...	...
besonders müde, erschöpft	...	...

Stimmungslage:

Äußerst schlecht



optimal,

könnte nicht
besser sein

Kopfdruck
Kopfschmerzen



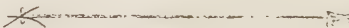
Atembeschwerden



Herz-/Kreislauf-
beschwerden



Narbenbeschwerden



sonstige Beschwerden



welche.....

Bei Frauen:

Ja Nein

War heute einer Ihrer kritischen Tage?
(monatliche Regel)

... ~~...~~

D) AUSWERTUNG UND DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE

Zur Auswertung wurden alle im Versuch gewonnenen Meßdaten schematisch nach folgenden Gesichtspunkten geordnet:

Ozon - Kontrollversuch

Meßgröße

Versuchspersonen

Zeitpunkt

Für die statistische Analyse wurden sie auf Lochkarten übertragen und im Leibniz-Rechenzentrum der Bayerischen Akademie der Wissenschaften weiterverarbeitet.

I. Errechnung von Gruppendurchschnittswerten

Um einen ersten Überblick über die Ergebnisse zu gewinnen, wurden die Daten der sechs Versuchspersonen für jeden Kontrollwert eines Versuchs gemittelt und dazu die Standardabweichung und der mittlere Fehler des Mittelwertes bestimmt.

II. Graphische Darstellung der Zeitreihen der Gruppendurchschnittswerte für jede Meßgröße

Die folgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse der durchgeführten Meßreihen im Ozon- und Kontrollversuch, dargestellt als Mittelwerte der sechs Versuchspersonen mit den dazu gehörenden mittleren Abweichungen (Streupfeile). Das Symbol $\square$ veranschaulicht die Mittelwerte aus dem Ozon-Versuch, während das Symbol $\times$, in der Zeitachse der Übersicht halber etwas versetzt eingezeichnet, die Mittelwerte aus dem Kontrollversuch darstellt.

Abbildung I: ERGOMETRIE; Verhalten des Pulses im Verlauf der gesamten Versuchsdauer (Tag 1 bis Tag 5); außerdem sind zur Verdeutlichung Ruhe- und Belastungspuls (in der 6. Minute) miteinander verbunden (Text S. 106)

_____ = mit Ozon

----- = ohne Ozon

Abbildung Ia: ERGOMETRIE; Pulsverhalten am 1. Tag,
1. Turn (= 2 Std. Expositionsdauer) und
2. Turn (= 8 Std. Expositionsdauer);

Abbildung Ib: ERGOMETRIE; Pulsverhalten am 2. Tag,
1. Turn (= 26 Std. Expositionsdauer) und
2. Turn (= 32 Std. Expositionsdauer);

Abbildung Ic: ERGOMETRIE; Pulsverhalten am 3. Tag,
1. Turn (= 50 Std. Expositionsdauer) und
2. Turn (= 56 Std. Expositionsdauer);

Abbildung Id: ERGOMETRIE; Pulsverhalten am 4. Tag,
1. Turn (= 74 Std. Expositionsdauer) und
2. Turn (= 80 Std. Expositionsdauer);

Abbildung Ie: ERGOMETRIE; Pulsverhalten am 5. Tag,
1. Turn (= 98 Std. Expositionsdauer) und
2. Turn (= 104 Std. Expositionsdauer);

Abbildung IIa: ERGOMETRIE; Verhalten des systolischen Blutdrucks am 1. Tag,
1. Turn (= 2 Std. Expositionsdauer) und
2. Turn (= 8 Std. Expositionsdauer);

Abbildung IIb: ERGOMETRIE; Verhalten des systolischen Blutdrucks am 2. Tag,
1. Turn (= 26 Std. Expositionsdauer) und
2. Turn (= 32 Std. Expositionsdauer);

- Abbildung IIc: ERGOMETRIE; Verhalten des systolischen
Blutdrucks am 3. Tag,
1. Turn (= 50 Std. Expositionsdauer) und
2. Turn (= 56 Std. Expositionsdauer);
- Abbildung IIId: ERGOMETRIE; Verhalten des systolischen
Blutdrucks am 4. Tag,
1. Turn (= 74 Std. Expositionsdauer) und
2. Turn (= 80 Std. Expositionsdauer);
- Abbildung IIe: ERGOMETRIE; Verhalten des systolischen
Blutdrucks am 5. Tag,
1. Turn (= 98 Std. Expositionsdauer) und
2. Turn (= 104 Std. Expositionsdauer);
- Abbildung IIIa: ERGOMETRIE; Verhalten des diastolischen
Blutdrucks am 1. Tag,
1. Turn (= 2 Std. Expositionsdauer) und
2. Turn (= 8 Std. Expositionsdauer);
- Abbildung IIIb: ERGOMETRIE; Verhalten des diastolischen
Blutdrucks am 2. Tag,
1. Turn (= 26 Std. Expositionsdauer) und
2. Turn (= 32 Std. Expositionsdauer);
- Abbildung IIIc: ERGOMETRIE; Verhalten des diastolischen
Blutdrucks am 3. Tag,
1. Turn (= 50 Std. Expositionsdauer) und
2. Turn (= 56 Std. Expositionsdauer);
- Abbildung IIId: ERGOMETRIE; Verhalten des diastolischen
Blutdrucks am 4. Tag,
1. Turn (= 74 Std. Expositionsdauer) und
2. Turn (= 80 Std. Expositionsdauer);
- Abbildung IIIe: ERGOMETRIE; Verhalten des diastolischen
Blutdrucks am 5. Tag,
1. Turn (= 98 Std. Expositionsdauer) und
2. Turn (= 104 Std. Expositionsdauer);

- Abbildung IVa: TIFFENEAU-TEST (FEV_1),
1. Versuch; graphische Darstellung der
Ergebnisse über den Verlauf der gesamten
Versuchsdauer (5 Tage = 106 Std.);
- Abbildung IVb: TIFFENEAU-TEST (FEV_1),
2. Versuch; graphische Darstellung der
Ergebnisse über den Verlauf der gesamten
Versuchsdauer (5 Tage = 106 Std.);
- Abbildung IVc: TIFFENEAU-TEST (FEV_1),
3. Versuch; graphische Darstellung der
Ergebnisse über den Verlauf der gesamten
Versuchsdauer (5 Tage = 106 Std.);
- Abbildung Va: REAKTION SZEIT,
1. Versuch; graphische Darstellung der
Ergebnisse über den Verlauf der gesamten
Versuchsdauer (5 Tage = 106 Std.);
- Abbildung Vb: REAKTIONSSZEIT,
2. Versuch; graphische Darstellung der
Ergebnisse über den Verlauf der gesamten
Versuchsdauer (5 Tage = 106 Std.);
- Abbildung Vc: REAKTIONSSZEIT,
3. Versuch; graphische Darstellung der
Ergebnisse über den Verlauf der gesamten
Versuchsdauer (5 Tage = 106 Std.);
- Abbildung Vd: REAKTIONSSZEIT,
4. Versuch; graphische Darstellung der
Ergebnisse über den Verlauf der gesamten
Versuchsdauer (5 Tage = 106 Std.);
- Abbildung Ve: REAKTIONSSZEIT,
5. Versuch; graphische Darstellung der
Ergebnisse über den Verlauf der gesamten
Versuchsdauer (5 Tage = 106 Std.);

- Abbildung Vf: REAKTIONSZEIT;
5. Versuch; graphische Darstellung der Ergebnisse über den Verlauf der gesamten Versuchsdauer (5 Tage = 106 Std.);
- Abbildung Vg: REAKTIONSZEIT;
graphische Darstellung der Mittelwerte von allen sechs Versuchen (aus den Mittelwerten der sechs Versuchspersonen) über den Verlauf der gesamten Versuchsdauer (5 Tage = 106 Std.);
- Abbildung VI: FLIMMERVERSCHMELZUNGSFREQÜENZ;
graphische Darstellung der Ergebnisse über den Verlauf der gesamten Versuchsdauer (5 Tage = 106 Std.);
- Abbildung VII: FARBEINSTELLUNG;
graphische Darstellung der Ergebnisse über den Verlauf der gesamten Versuchsdauer (5 Tage = 106 Std.);
- Abbildung VIII: FARBWIEDERERKENNUNG;
graphische Darstellung der Ergebnisse über den Verlauf der gesamten Versuchsdauer (5 Tage = 106 Std.);
- Abbildung IX: STIMMUNG;
graphische Darstellung der jeweiligen Stimmungslage als Position auf einer Skala (0 Relativ-Einheiten = sehr schlecht; 30 Relativ-Einheiten = weder/noch; 60 Relativ-Einheiten = optimal) über den Verlauf der gesamten Versuchsdauer (5 Tage = 106 Std.).

ERGOMETRIE/PULS

PULS

Abb. I
Legende S. 36

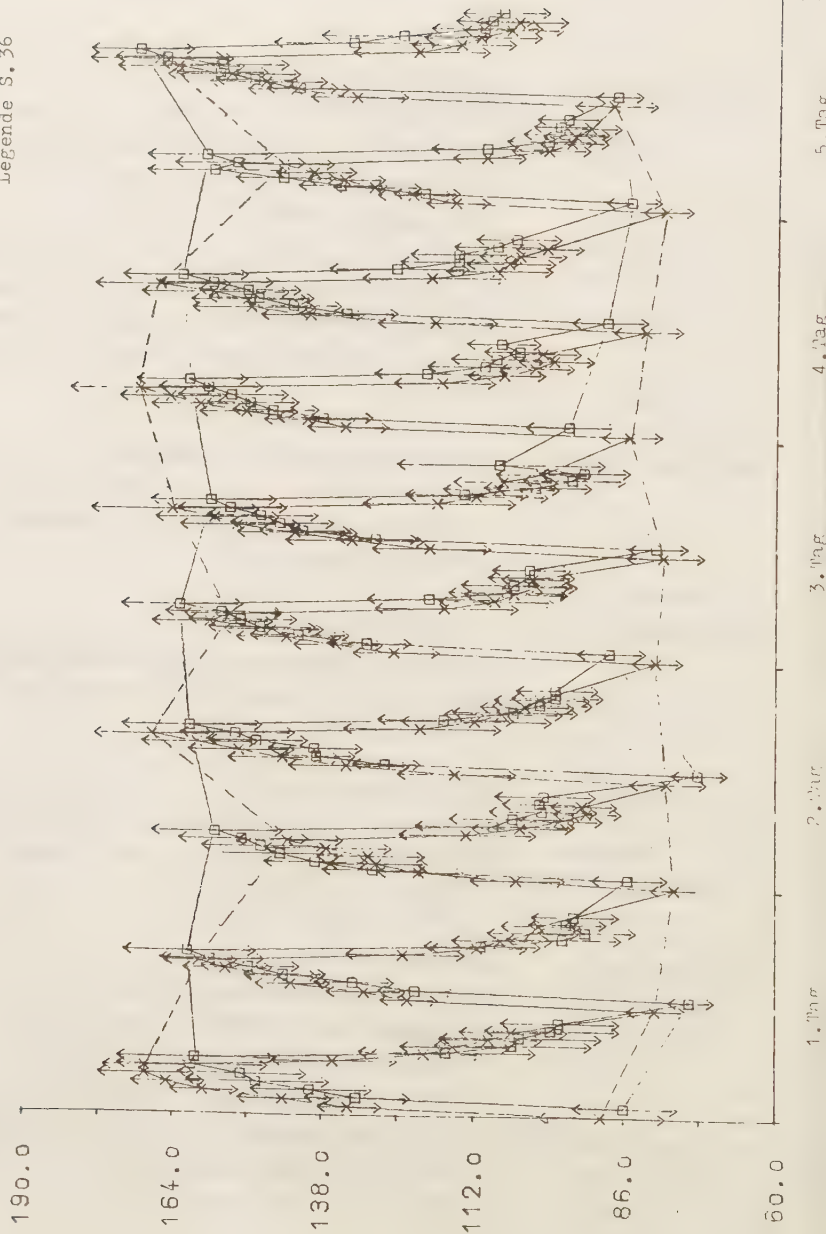
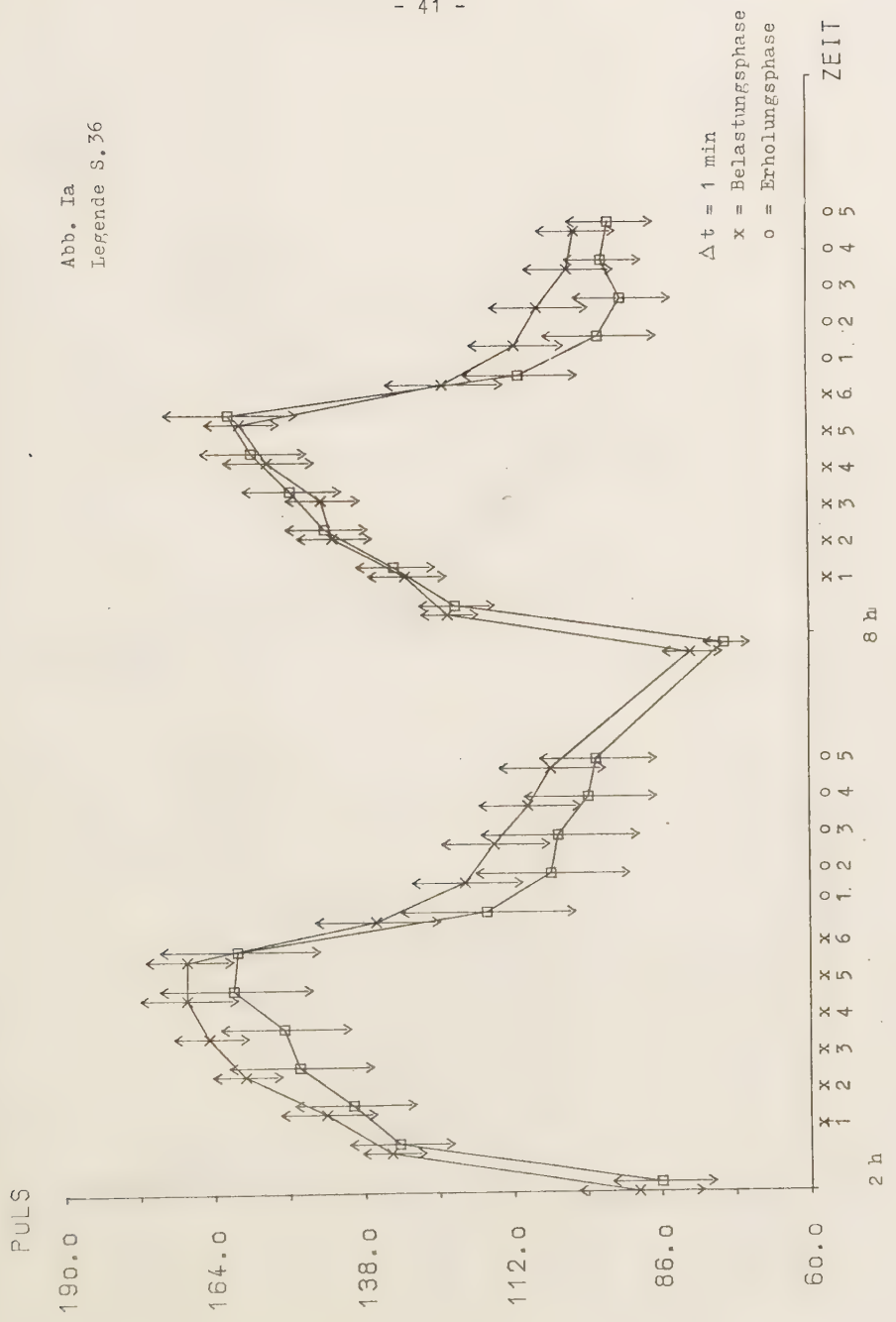


Abb. Ia
Legende S. 36



ERGOMETRIE/PULS TAG 2

PULS

Abb. Ib
Legende S. 36

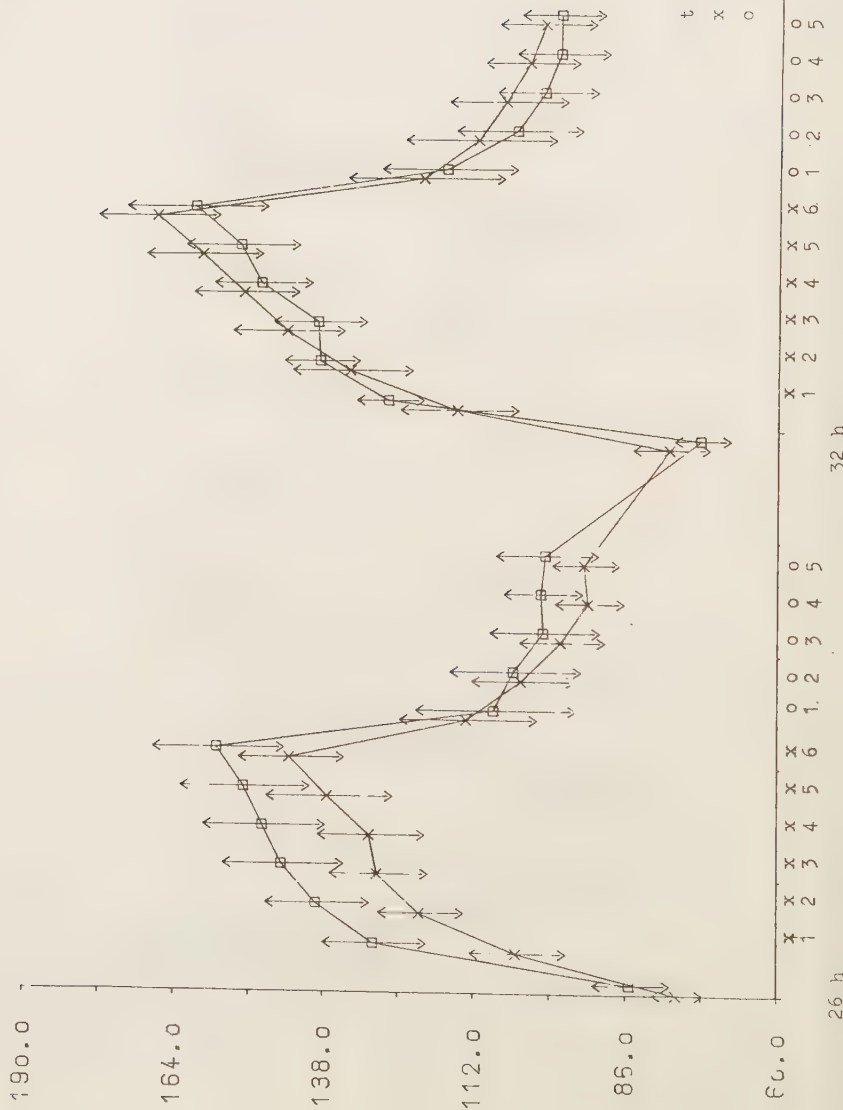
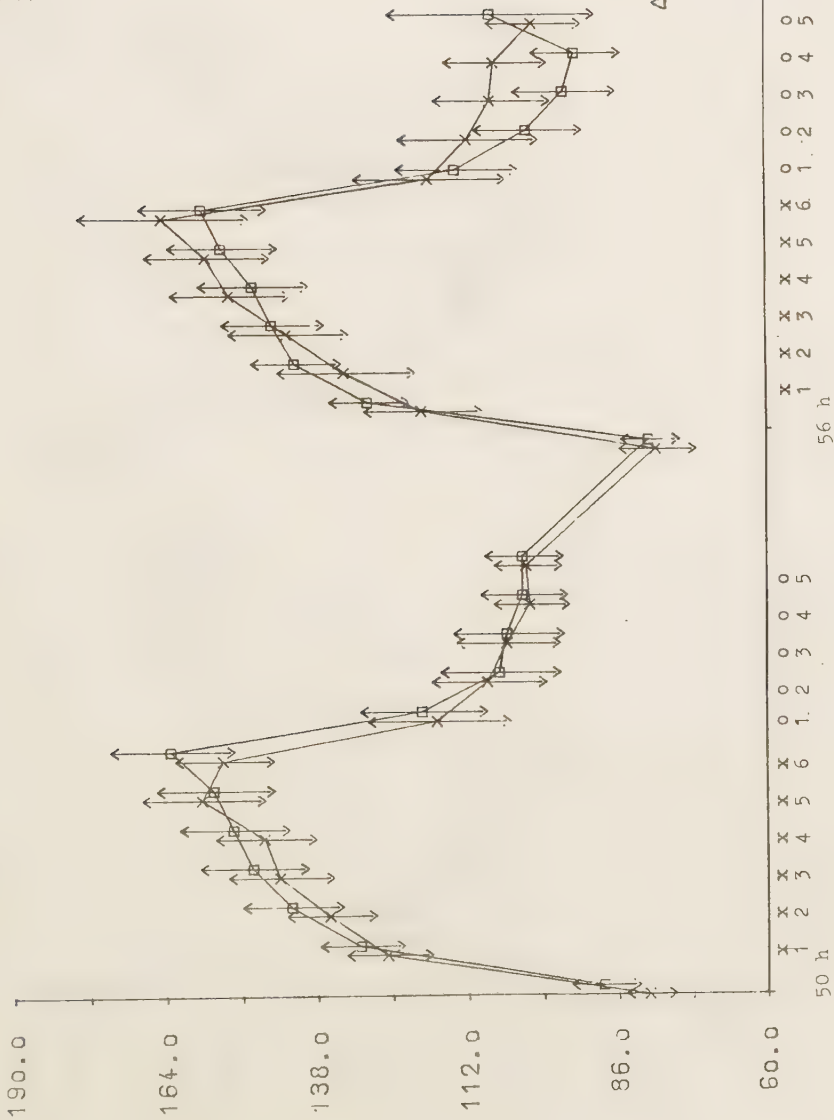


Abb. Ic
Legende S. 36

- 43 -


$$\Delta t = 1 \text{ min}$$

x = Belastungsphase

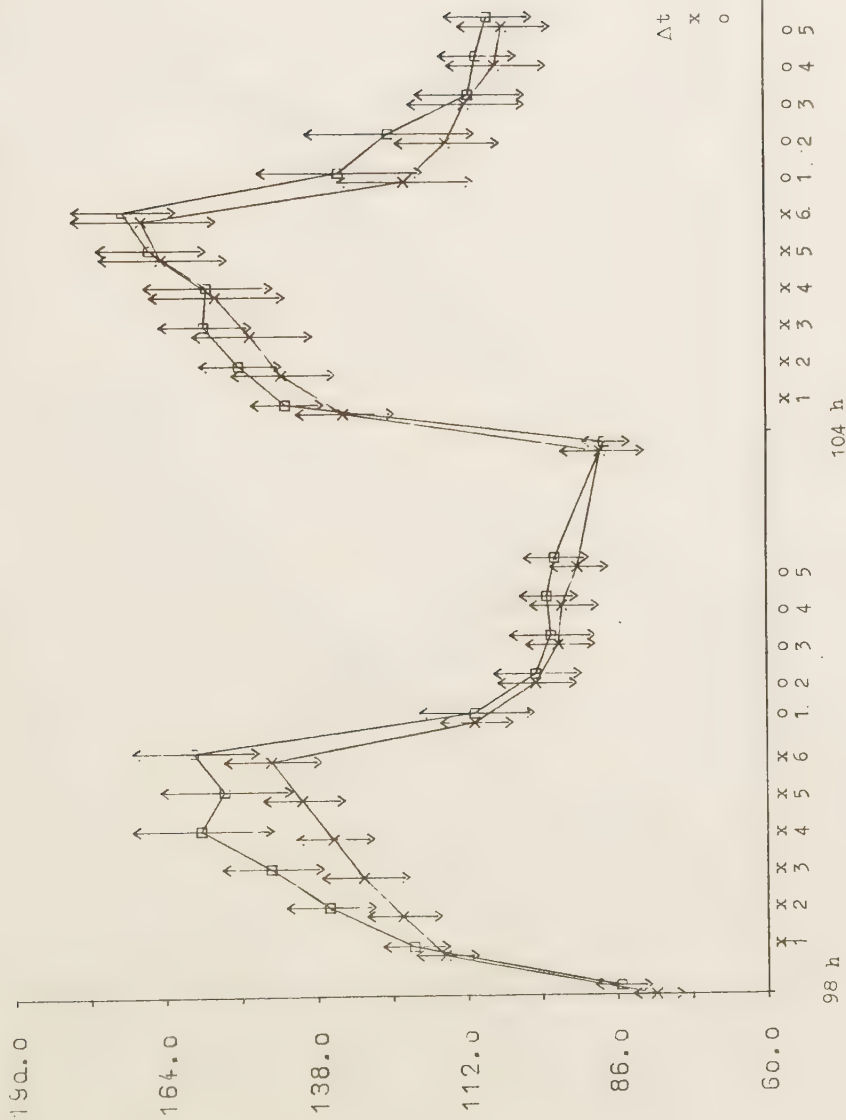
0 = Erholungsphase

ZEIT

TAG-5

PULS

Abb. Le
Legende S. 36



ERGOMETRIE/RR SYST. TAG 1

RR S

200.0

180.0

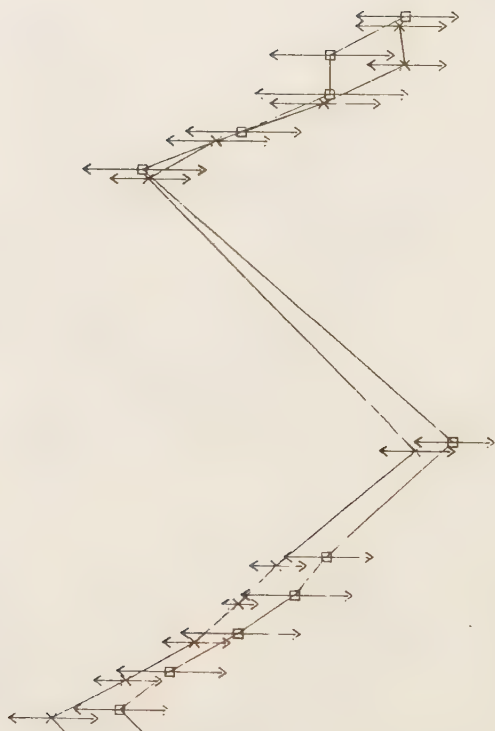
160.0

140.0

120.0

100.0

Abb. IIa
Legende S. 36



$\Delta t = 1 \text{ min}$

o = Erholungsphase

Abb. IIb
Legende S. 36

RR S

200.0

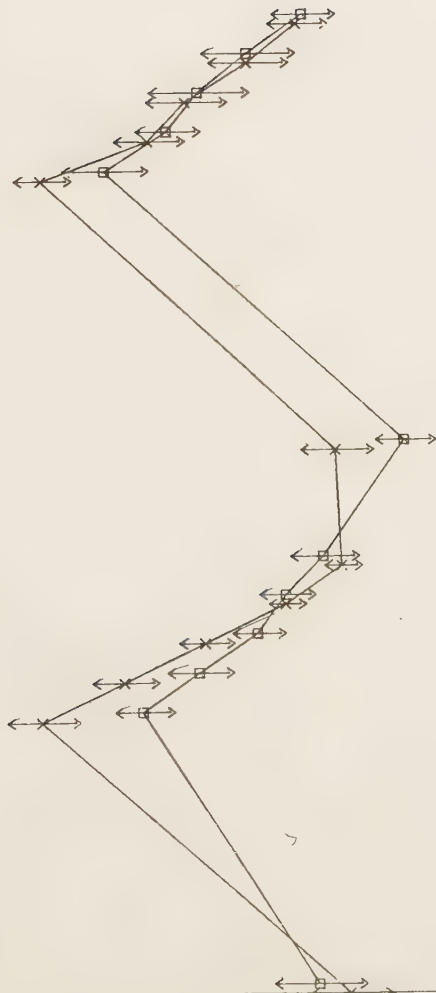
180.0

160.0

140.0

120.0

100.0



$\Delta t = 1 \text{ min}$
o = Erholungsphase

26 h

32 h

ZEIT

ERGOMETRIE/RR SYST. TAG 3

RR S

Abb. IIc
Legende S. 37

200.0

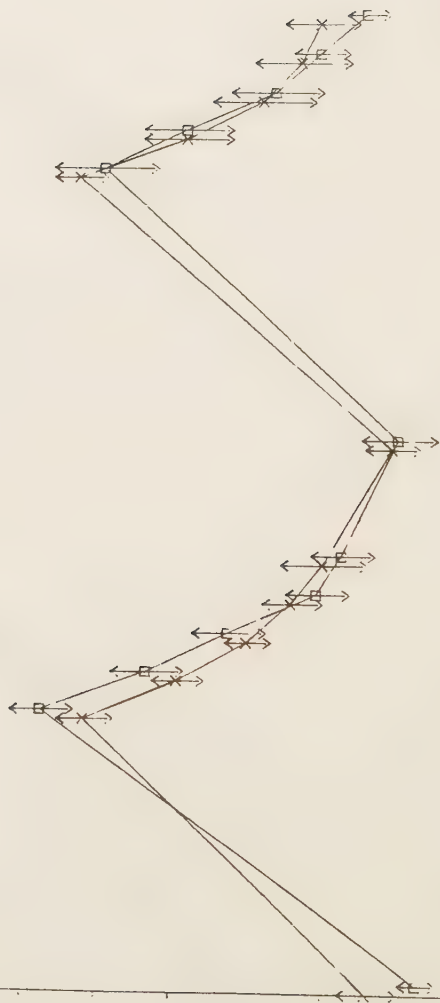
180.0

160.0

140.0

120.0

100.0



$\Delta t = 1 \text{ min}$

$\sigma = \text{Erholungsphase}$

50

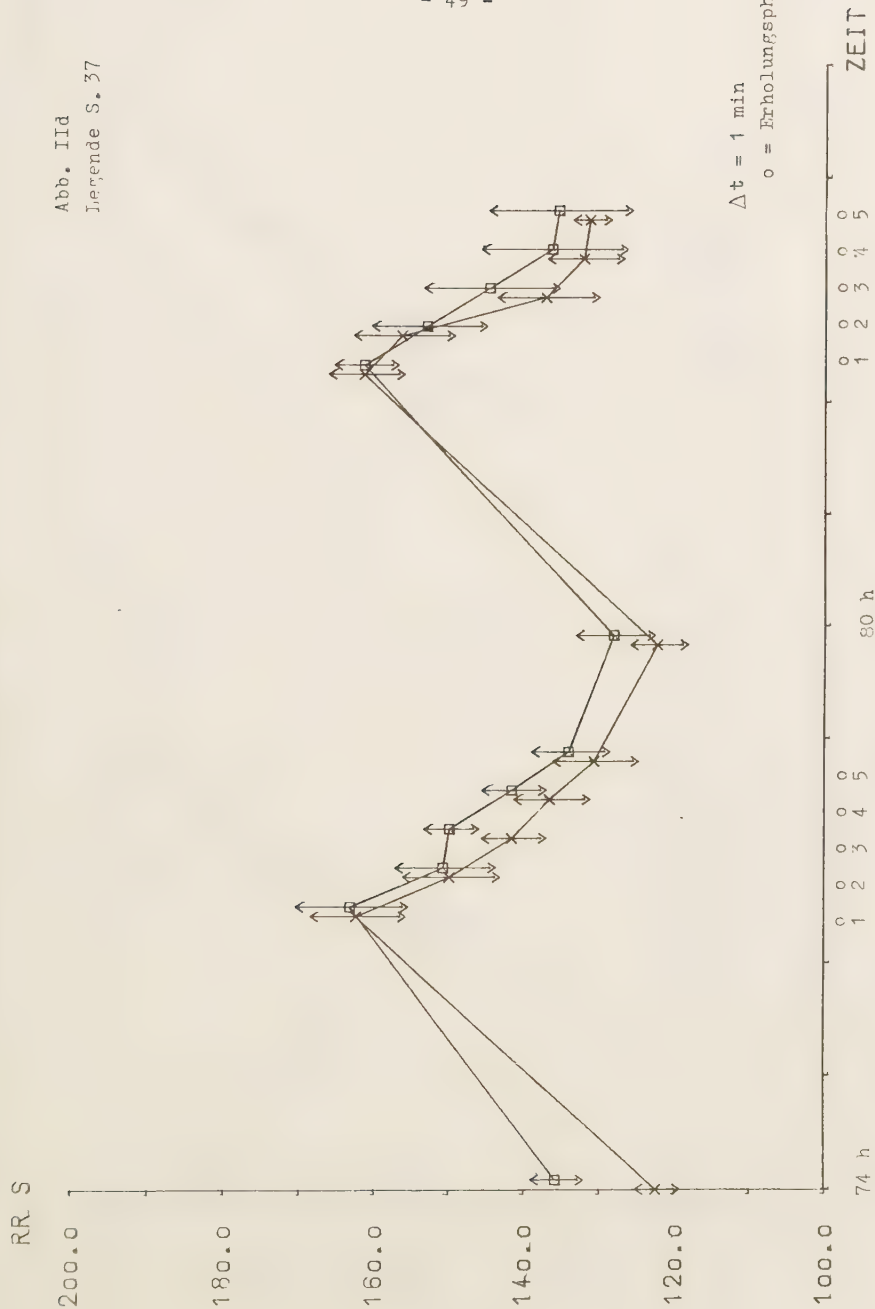
1 2 3 4 5

6 7 8

9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50

7 FIT

Abb. II d
Jüngste S. 37



ERGOMETRIE/RR SYST. TAG 5

RR S

200.0

180.0

160.0

140.0

120.0

100.0

Abb. 11e
Legende S. 37

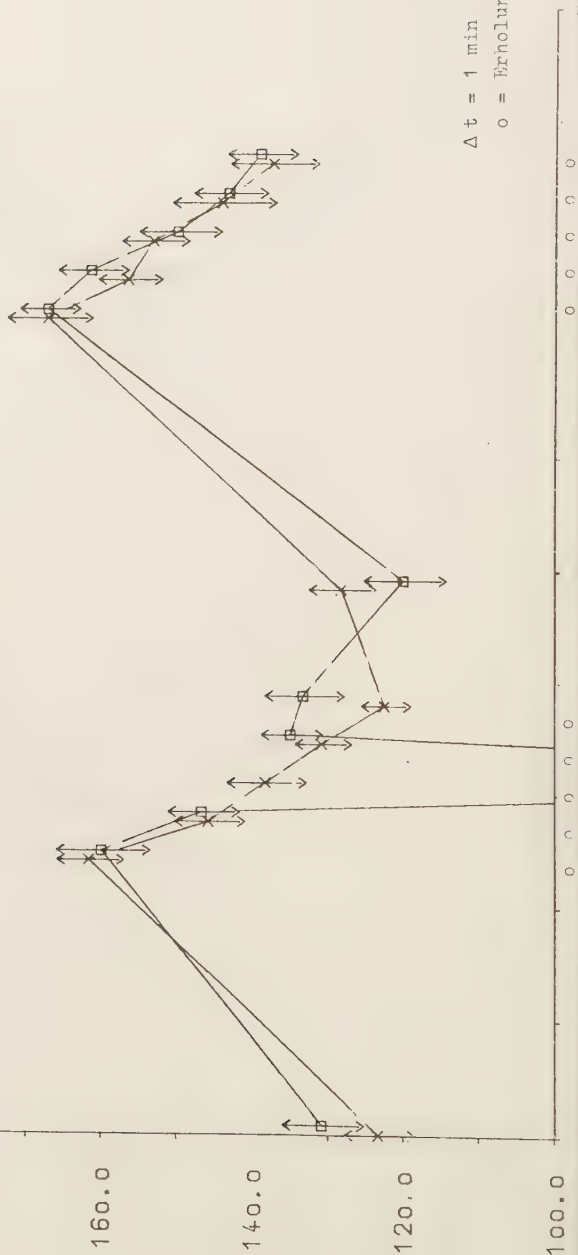
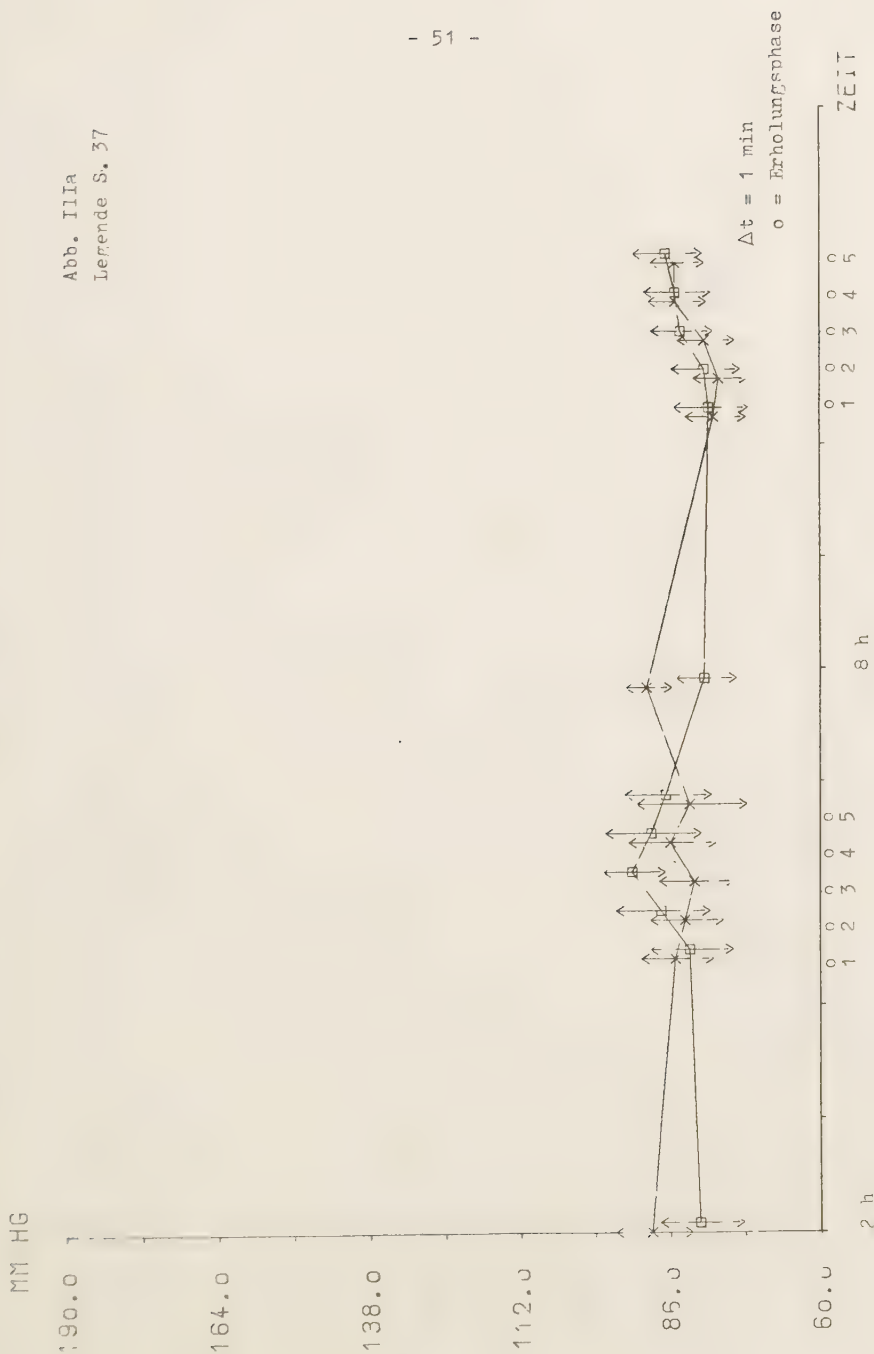


Abb. IIIa
Legende S. 37



ERGOMETRIE/RR D TAG 2

MM HG

190.0

164.0

138.0

112.0

86.0

60.0

Abb. IIb
Legende S. 37

- 52 -

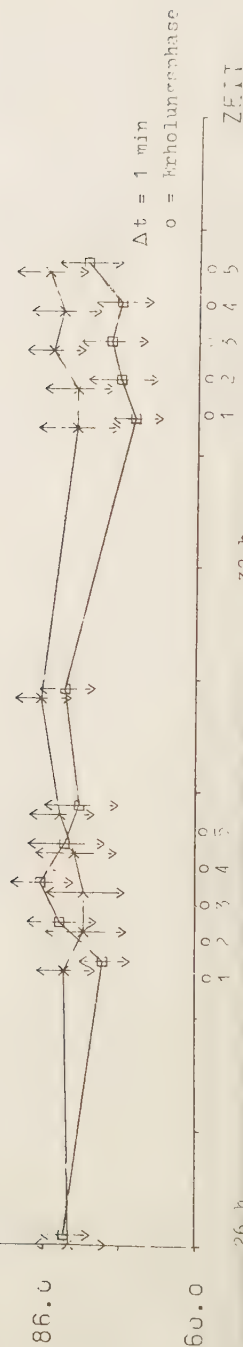
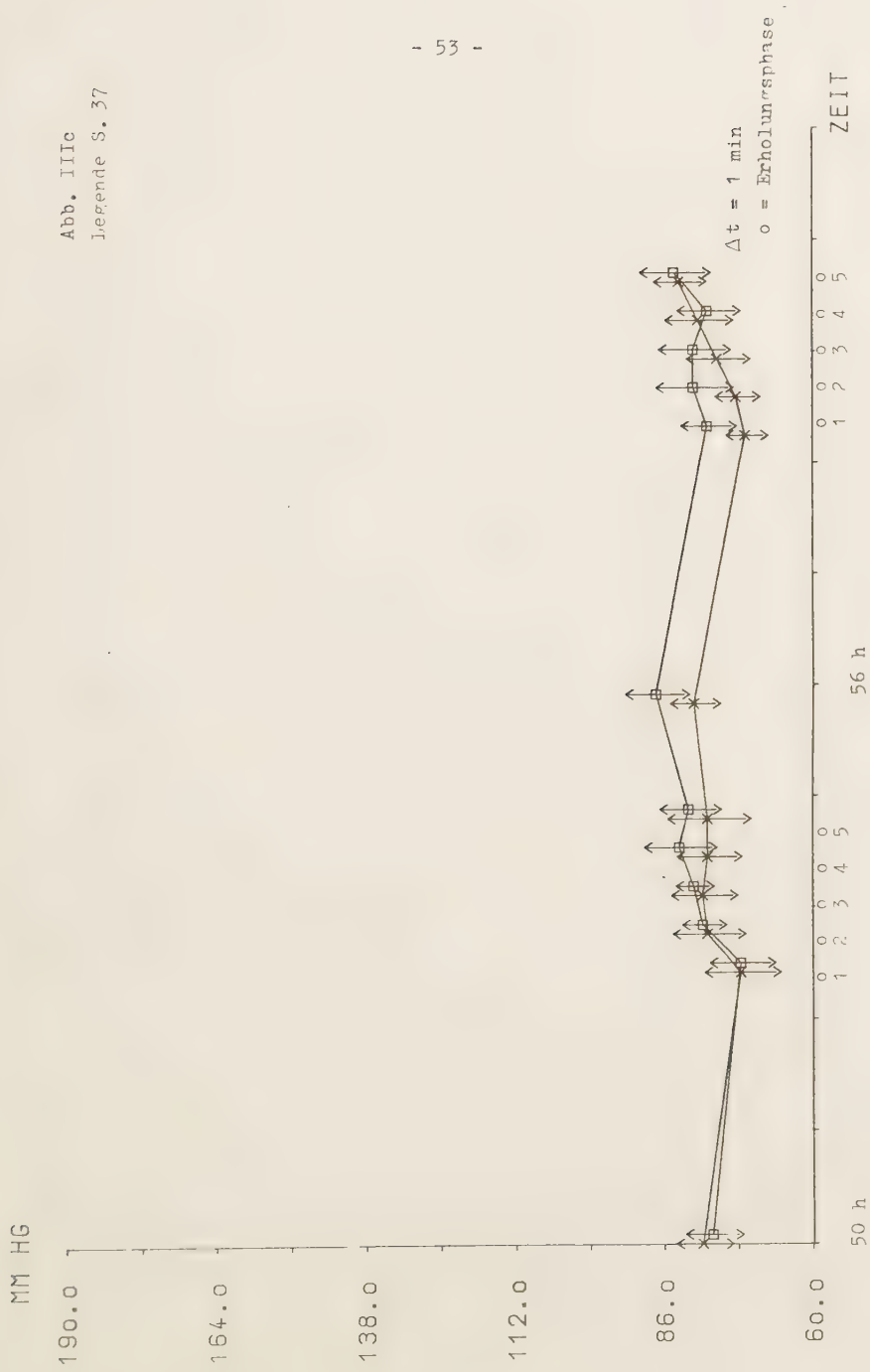


Abb. IIc
Legende S. 37



ERGOMETRIE/RR D TAG. 4

MM HG

190.0

164.0

138.0

112.0

86.0

60.0

Abb. IIIa
Legende S. 37

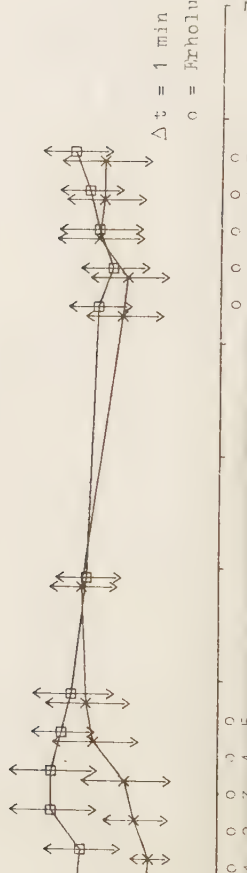
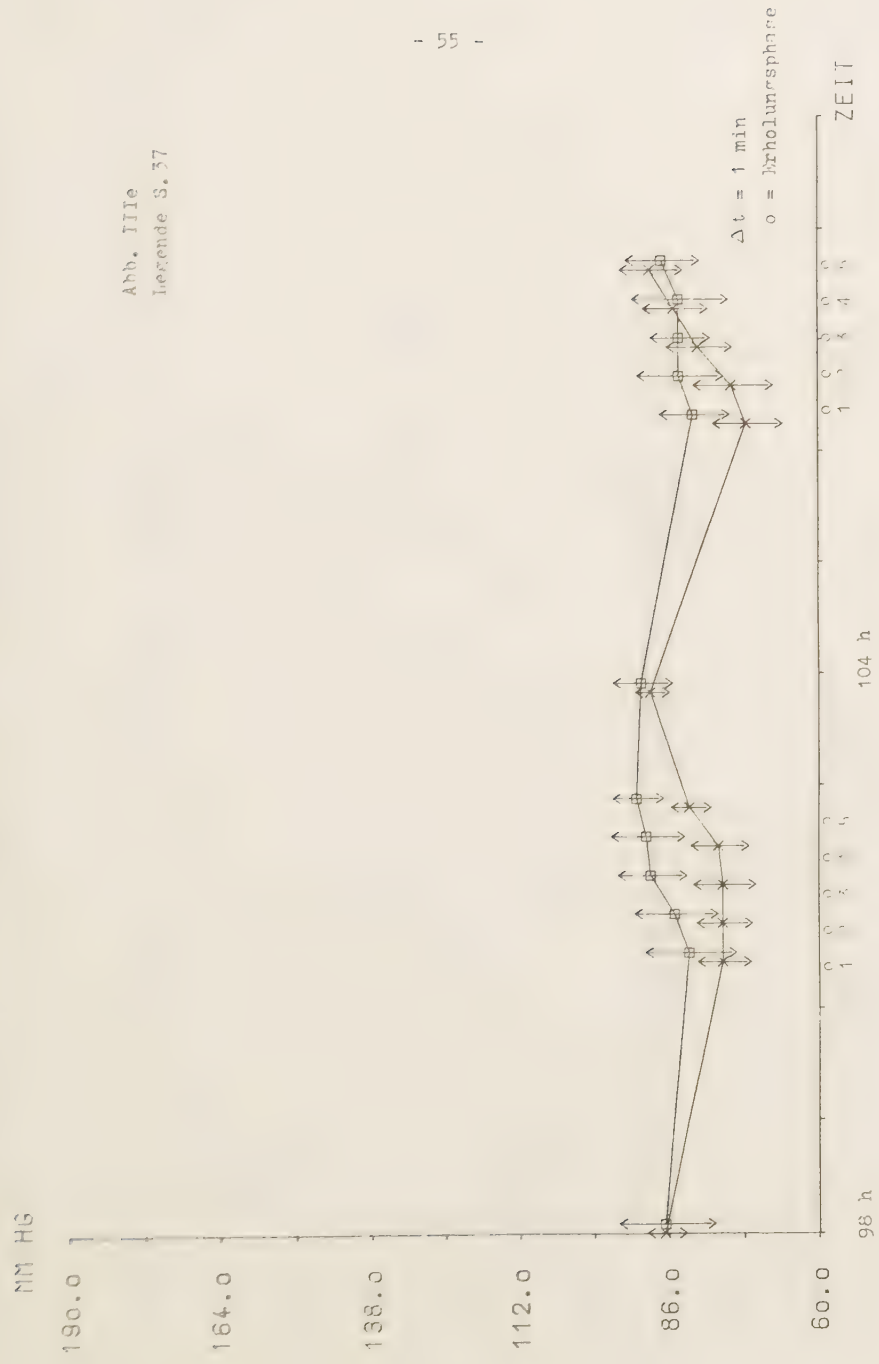
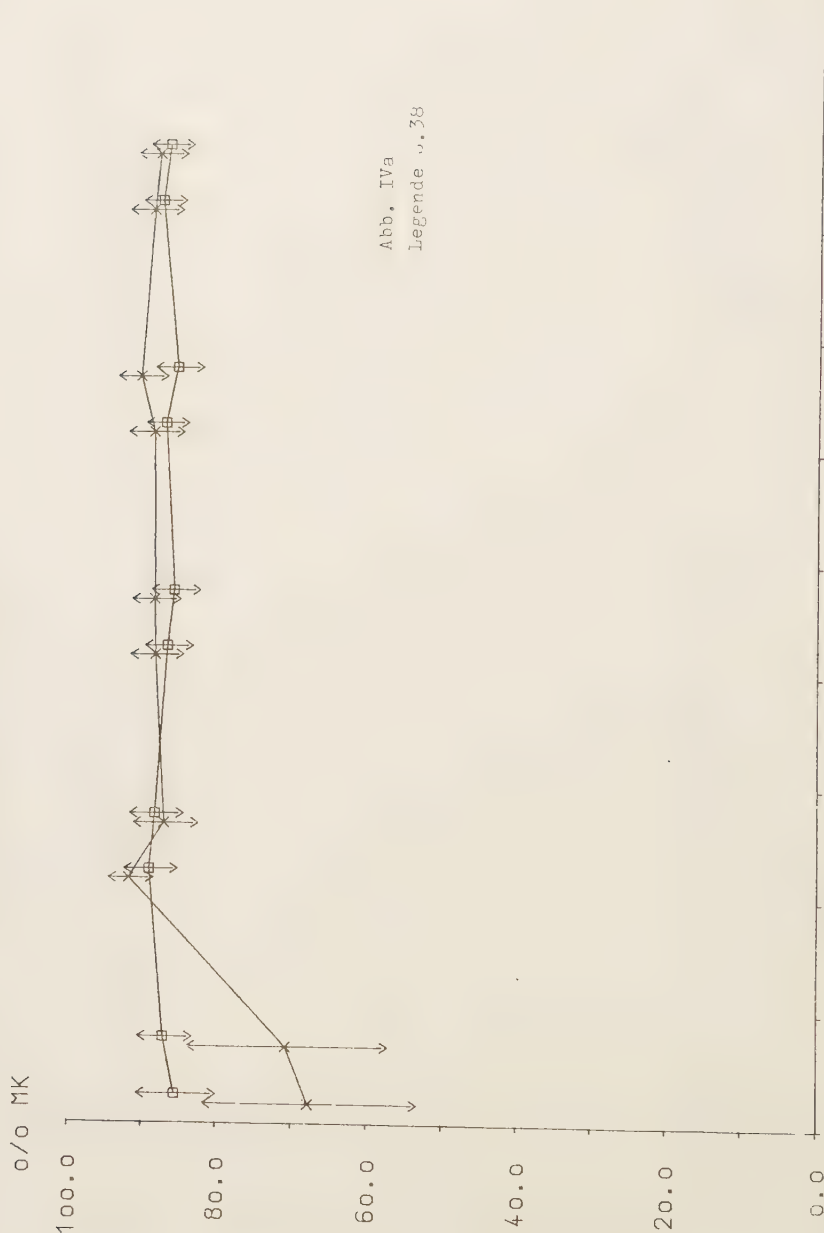


Abb. IIIe
Legende S. 37



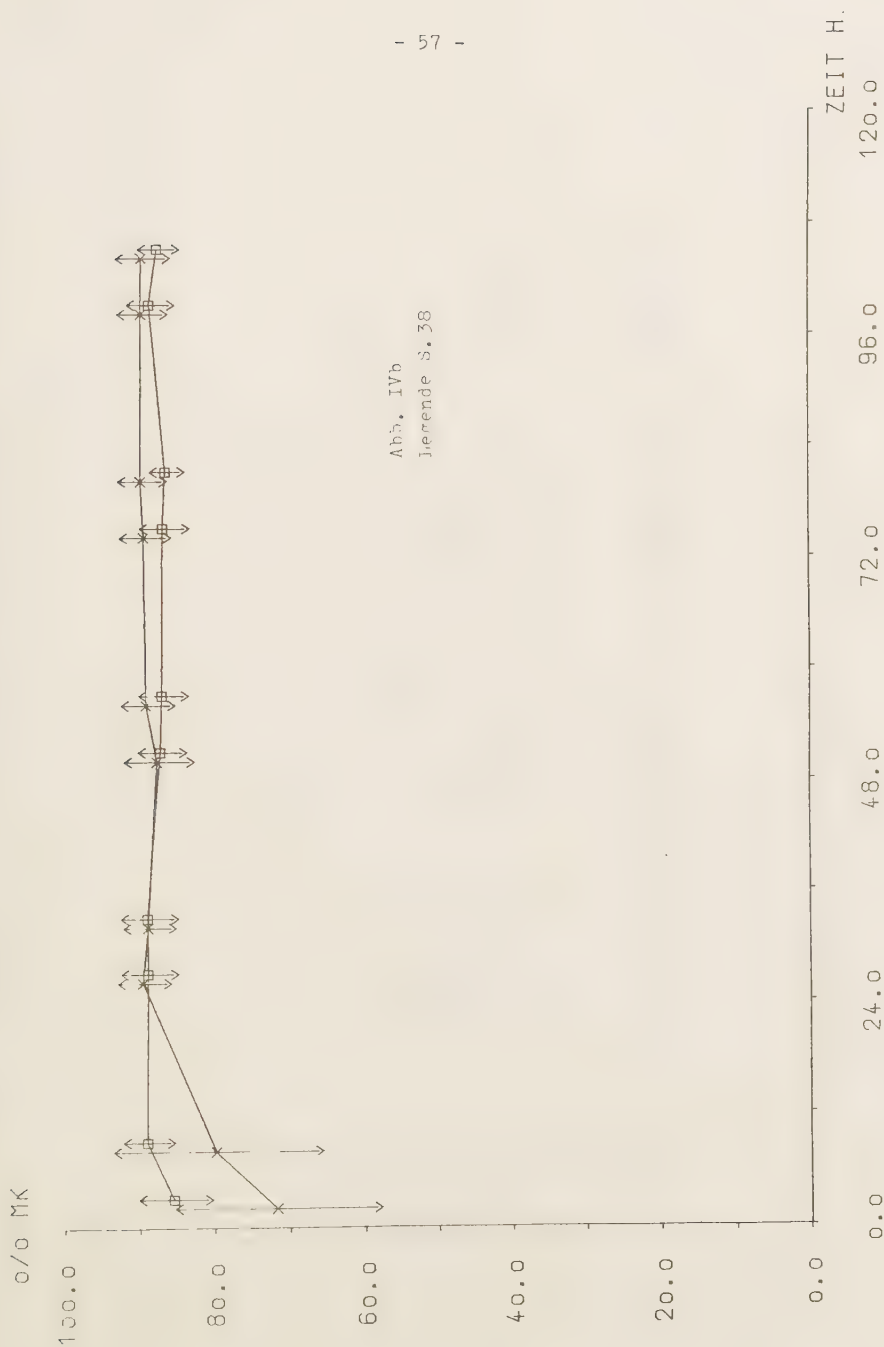
TIFFENEAU TEST 1. VERSUCH



TIFFENEAU TEST 2. VERSUCH

- 57 -

Abb. IVb
Jugend S. 38



TIFFENEAU TEST 3. VERSUCH

o/o MK

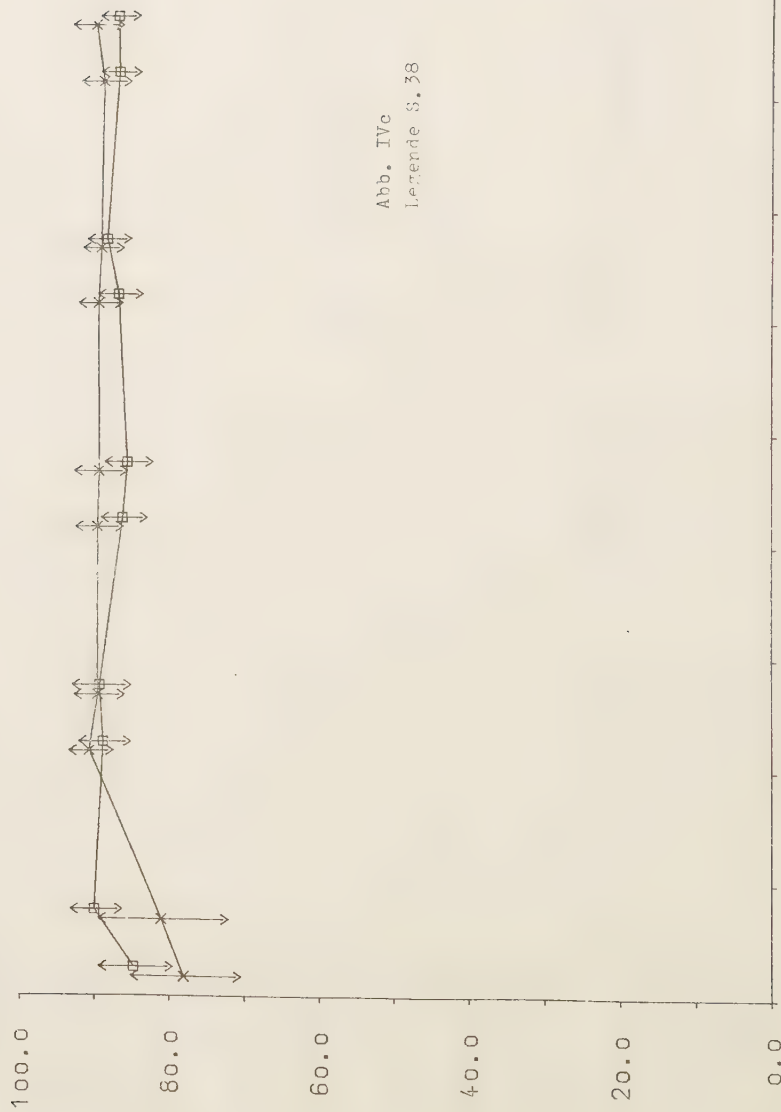


Abb. IVc
Legende S. 38

REAKTIONSZEIT 1. VERSUCH

MSEC

500.0

400.0

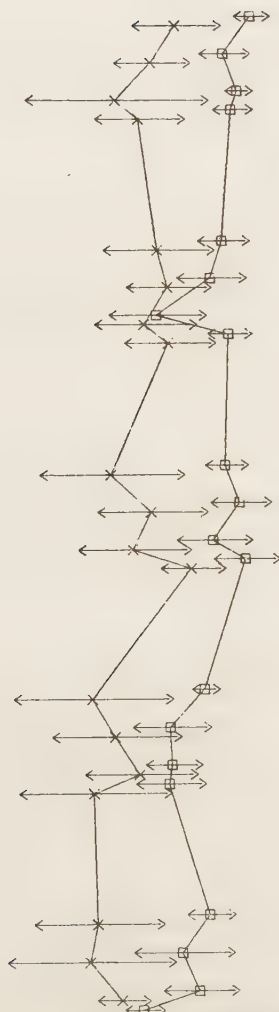
300.0

200.0

100.0

0.0

Abb. Va
Legende S. 38



ZEIT H

0.0

24.0

48.0

72.0

96.0

120.0

REAKTIONSZEIT 2. VERSUCH

MSEC

500.0

400.0

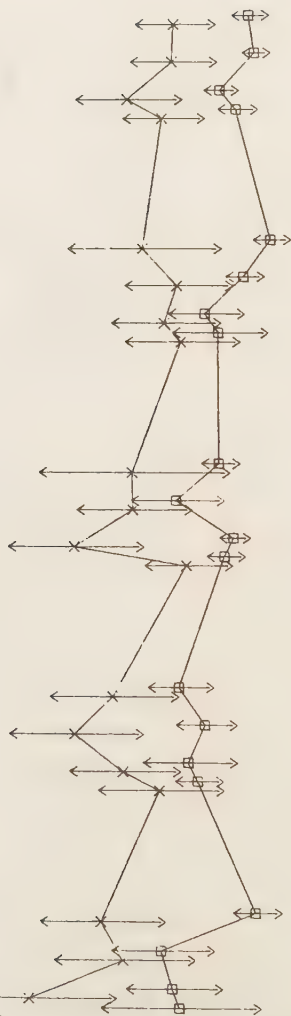
300.0

200.0

100.0

0.0

Abb. Vb
Legende S. 38



REAKTIONSZEIT 3.VERSUCH

Abb. Vc
Legende S. 38

MSEC

500.0

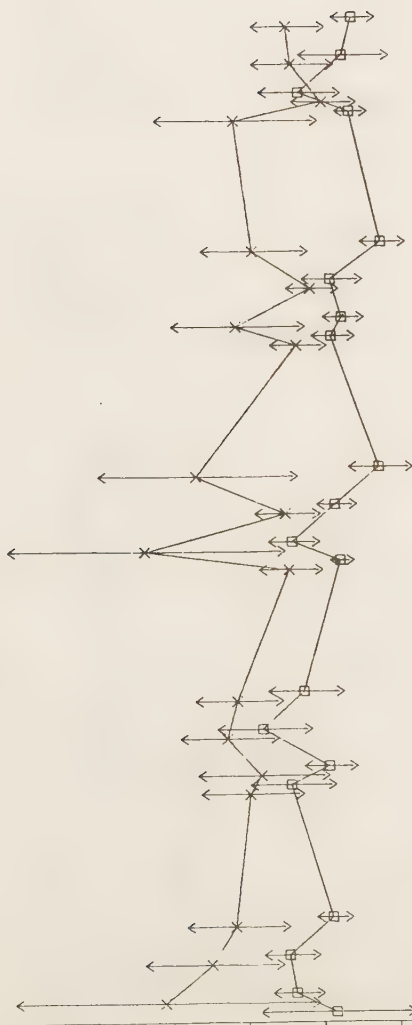
400.0

300.0

200.0

100.0

0.0



ZEIT H

120.0

96.0

72.0

48.0

24.0

0.0

REAKTIONSZEIT 4. VERSUCH

MSEC

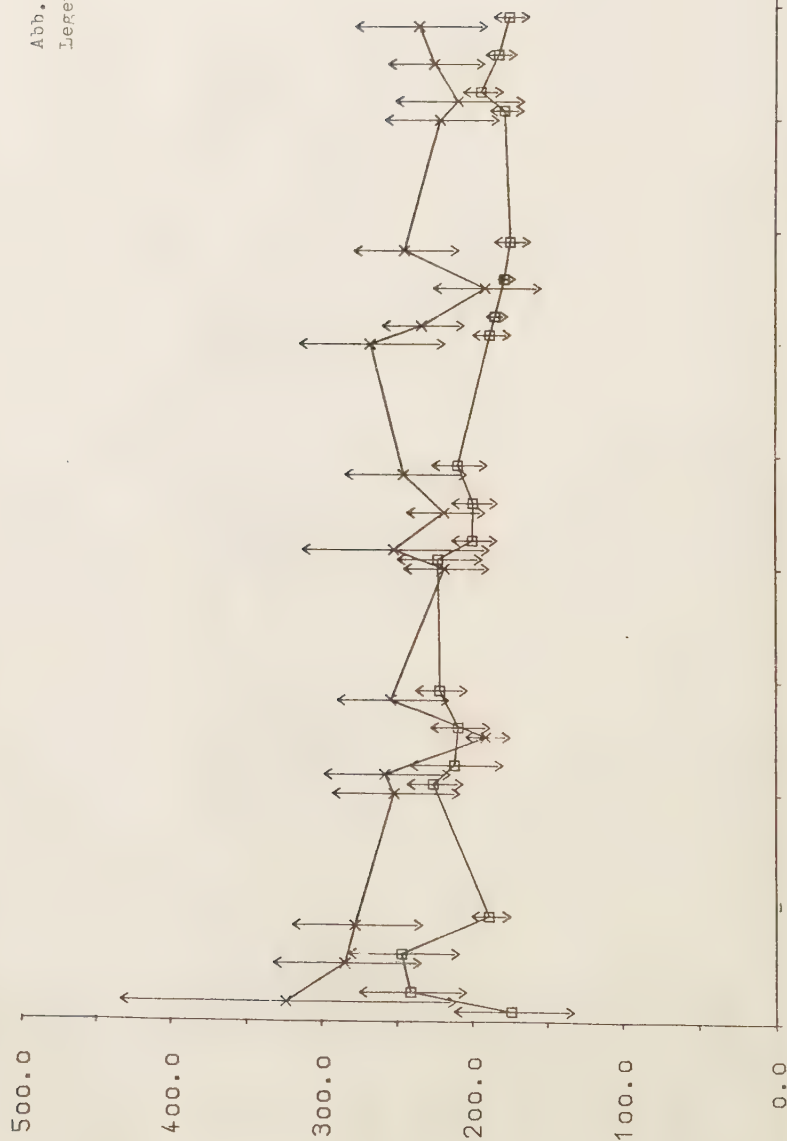


Abb. Vd
Legende S. 38

REAKTIONSZEIT S. VERSUCH

Abb. Ve
Legende S.38

MSEC

500.0

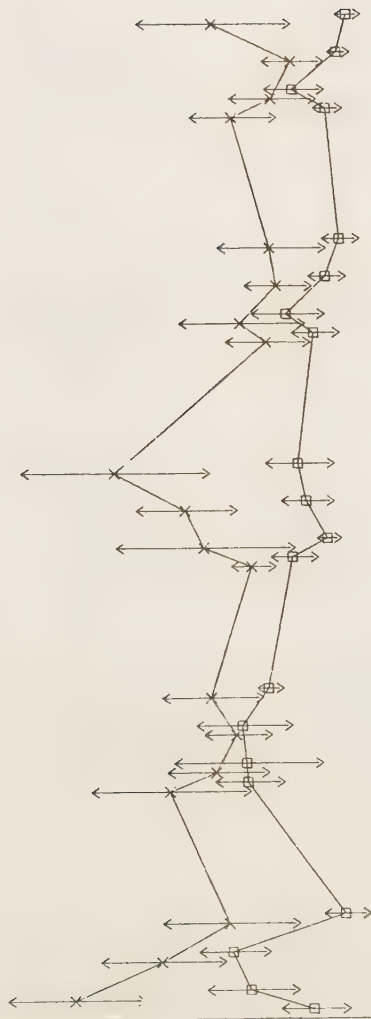
400.0

300.0

200.0

100.0

0.0



ZEIT H

120.0

96.0

72.0

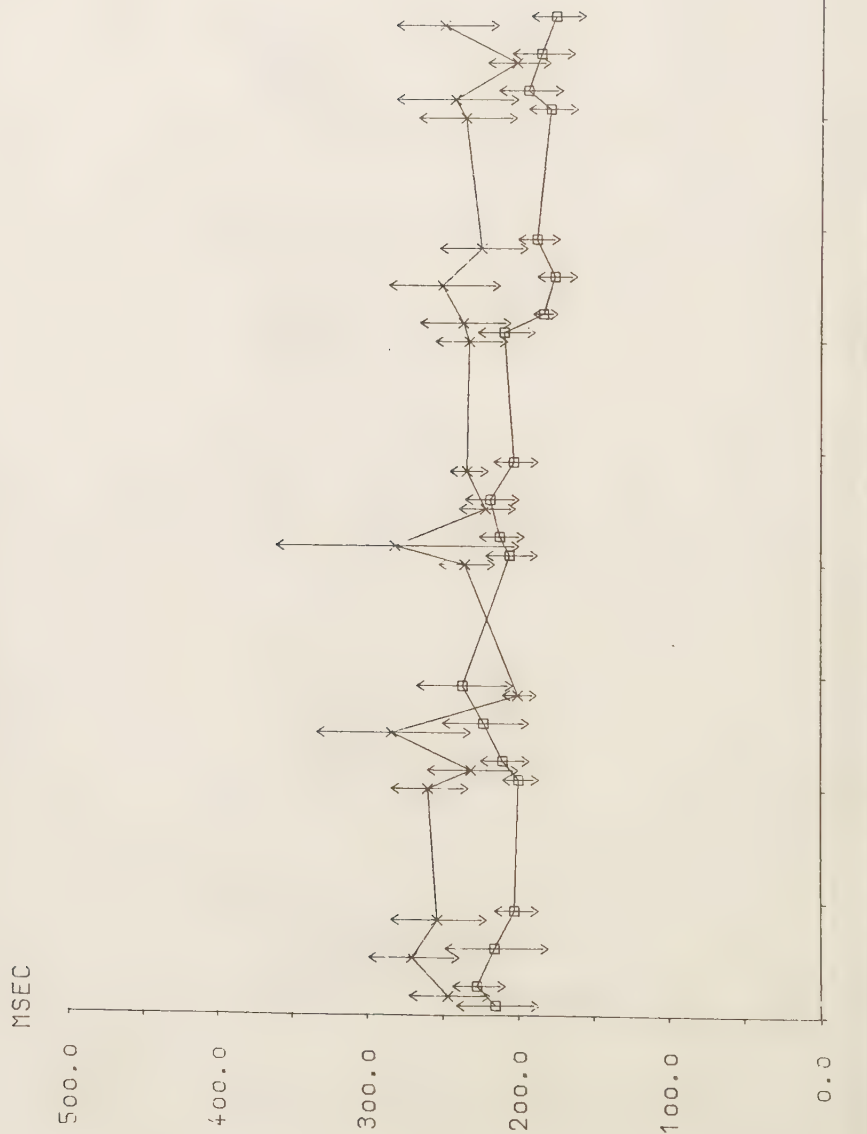
48.0

24.0

0.0

REAKTIONSZEIT 6. VERSUCH

Abb. Vf
Legende S. 39



REAKTIONSZEIT

Abb. Vg
Legende S. 39

MSEC

500.0

420.0

340.0

260.0

180.0

100.0

0.0

24.0

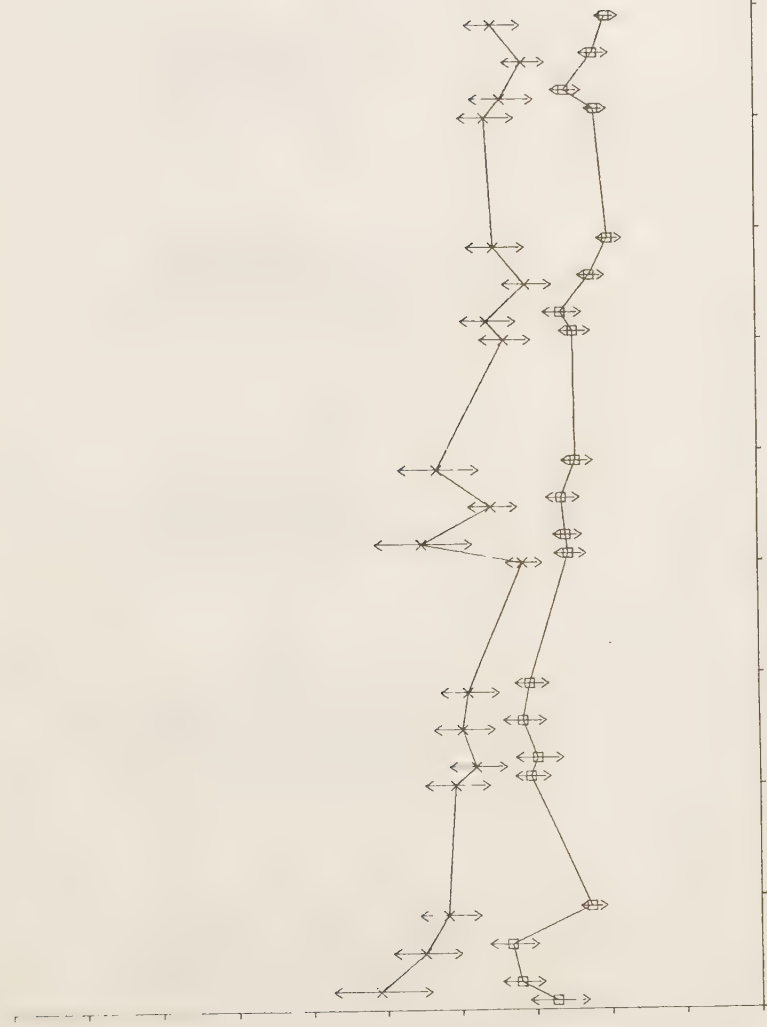
48.0

72.0

96.0

120.0

ZEIT H



FLIMMERVERSCHMELZUNG

SKT

8800.0

8600.0

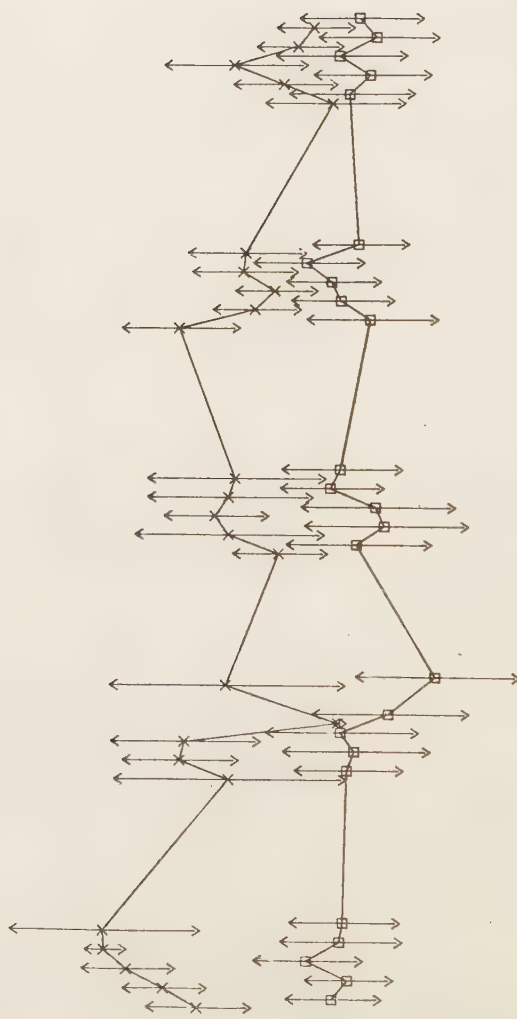
8400.0

8200.0

8000.0

7800.0

Abb. VI
Terende S. 39



FARBEINSTELLUNG

REL. EH

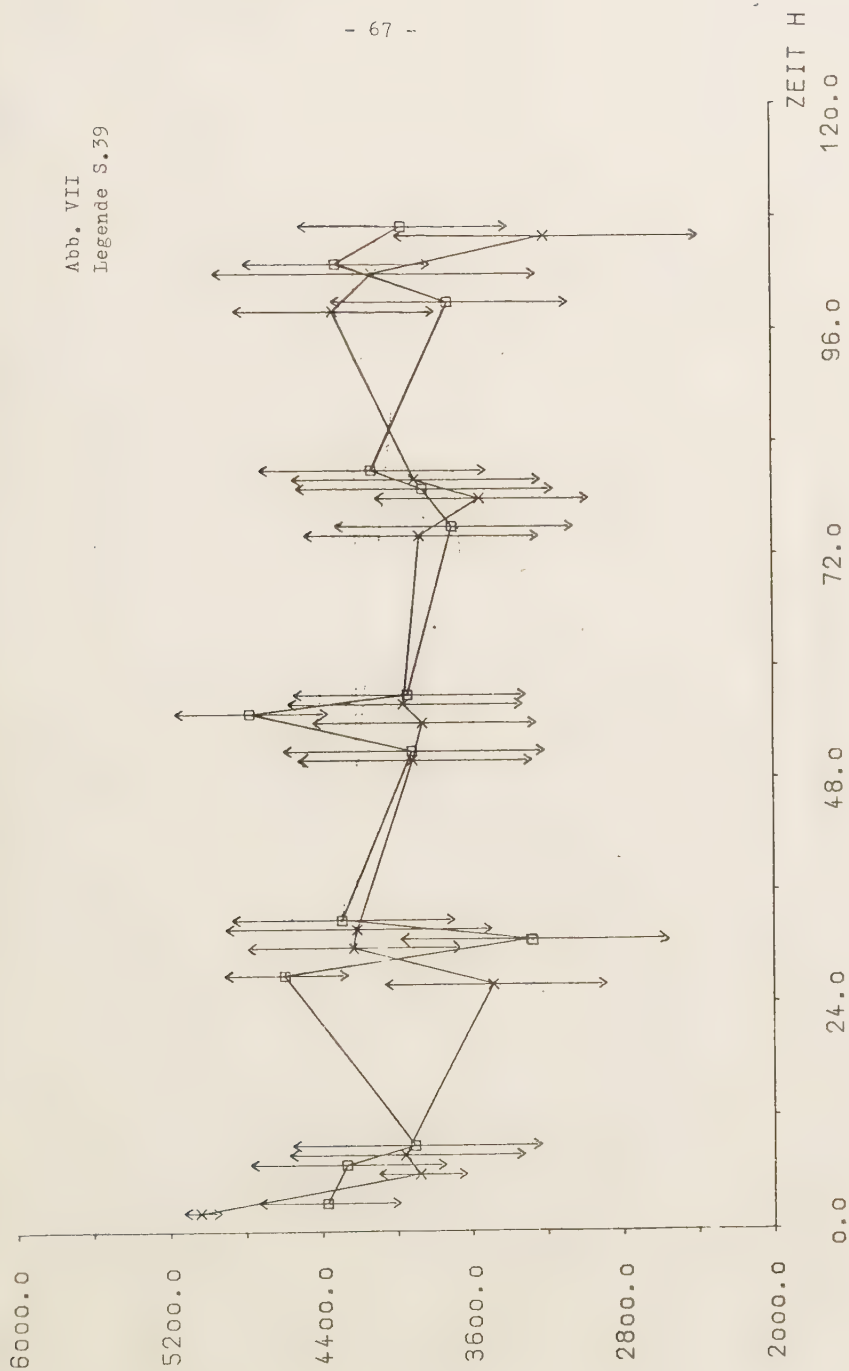


Abb. VII
Legende S. 39

FARBWIEDERERKENNUNG

REL.EH

3600.0

3400.0

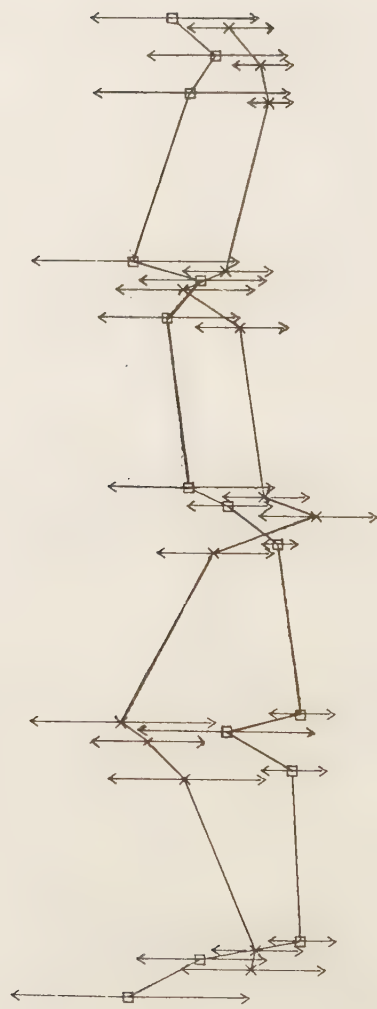
3200.0

3000.0

2800.0

2600.0

Abb. VIII
Legende S.39



REL.EH

60.0

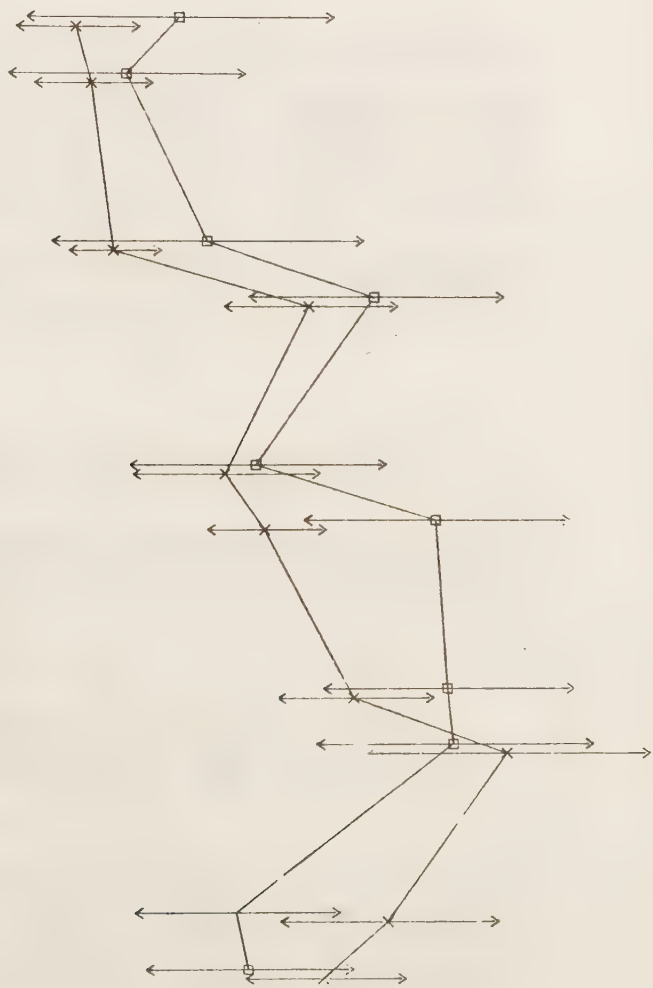
52.0

44.0

36.0

28.0

20.0



ZEIT H

120.0

96.0

72.0

48.0

24.0

0.0

III. Statistische Prüfung der Ergebnisdarstellung:

Bei der Durchsicht der vorausgegangenen Abbildungen I - IX fällt auf, daß sich die Streubereiche der meisten Werte aus Ozon- und Kontrollversuch überlappen oder zumindest berühren. Bei all jenen Werten, bei denen dies nicht der Fall ist, wurden folgende statistische Untersuchungen durchgeführt:

Anhand des F-Tests wurden zunächst die Varianzen der Gruppendurchschnitte

$$(F = \frac{s_1^2}{s_2^2})$$

aus den Versuchen ohne bzw. mit Ozon daraufhin geprüft, ob sie mit der Nullhypothese $s_1 = s_2$ vereinbar sind.

Wenn $\alpha_F \geq 0,05$, genügt zur weiteren Signifikanzprüfung der aus den gepoolten Varianzen von Ozon- und Kontrollversuch errechnete t_p -Test ($n_1 + n_2 - 2$ FG):

$$t_p = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right) \frac{SAQ_1 + SAQ_2}{n_1 + n_2 - 2}}}$$

und die dazugehörige Irrtumswahrscheinlichkeit α_{tp} . Eine Beurteilung für den Fall ungleicher Varianzen ($\alpha_F < 0,05$) erlaubt der t_g -Wert. Er wird aus den separaten Standardabweichungen des Ozon- und Kontrollversuchs errechnet:

$$t_s = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{SAQ_1}{n_1(n_1-1)} + \frac{SAQ_2}{n_2(n_2-1)}}} ;$$

$$\text{mit FG} = \left(\frac{1}{n_1-1} \left(\frac{SE_1^2}{SE_1^2 + SE_2^2} \right)^2 + \frac{1}{n_2-1} \left(\frac{SE_2^2}{SE_1^2 + SE_2^2} \right)^2 \right)^{-1} ;$$

$$(SE = \sqrt{\frac{SAQ}{n(n-1)}})$$

Für die Beurteilung der Vergleiche zwischen zusammengehörigen Wertpaaren aus Kontroll- und Ozonversuch mit dem T-Test wurde als Signifikanzschranke $\alpha_{ts} \leq 0,05$ zugrunde gelegt. Im Durchschnitt kann also jeder 20. nach diesem Kriterium als signifikant gekennzeichnete Unterschied auch zufällig zustande gekommen sein.

In den Tabellen 1 - 12 entspricht:

$\bar{x}$ = Mittelwert aus 2 - 6 Versuchspersonen für jeden Zeitpunkt, an dem, je nach Versuchsreihe, Kontrollmessungen durchgeführt wurden.

$s_{\bar{x}}$ = der einfache mittlere Fehler des zugehörigen Mittelwertes

n = Anzahl der Probanden, aus denen der Durchschnitt $\bar{x}$ gebildet wurde.

Ozon- und Kontrollwert sind einander gegenübergestellt.

In der Reihe der statistischen Prüfungen werden nacheinander aufgeführt:

F-Test und dazugehörige Irrtumswahrscheinlichkeit für ein fälschliches Ablehnen der Nullhypothese $s_1 = s_2$;

t_p-Test und dazugehörige Irrtumswahrscheinlichkeit;

t_s-Test und dazugehörige Irrtumswahrscheinlichkeit.

Die in den Tabellen angegebenen Werte sind aufgerundet; für statistische Zwecke wurden jedoch sämtliche vom Rechenprogramm ermittelten Stellen hinter dem Komma berücksichtigt.

Tabelle		Seite
1	Ergometrie, Puls	73
2	Ergometrie, systolischer Blutdruck	74
3	Ergometrie, diastolischer Blutdruck	75
4	Reaktionszeit, 1. Versuch	76
5	Reaktionszeit, 2. Versuch	77
6	Reaktionszeit, 3. Versuch	78
7	Reaktionszeit, 4. Versuch	79
8	Reaktionszeit, 5. Versuch	80
9	Reaktionszeit, 6. Versuch	81
10	Flimmerverschmelzungsfrequenz	82
11	Farbeinstellung	83
12	Farbwiedererkennung	84

Tabelle Nr. 1

Messgröße: ERGOMETRIE, Puls

Expos.- dauer (h)	ohne Ozon		mit Ozon		n	F-Wert	statistische Prüfung				α_{ts}
	$\bar{x}$	$\pm s_{\bar{x}}$	$\bar{x}$	$\pm s_{\bar{x}}$			α_F	t_p -Wert	α_p	t_s -Wert	
26 h 1. min Belast.	104,67	7,55	129,33	8,31	6	1,211	0,838	-2,196	0,053	-2,196	0,056
26 h 2. min Belast.	121,33	6,75	139,33	8,42	6	1,556	0,693	-1,668	0,126	-1,667	0,130
98 h 4. min	135,33	6,15	158,00	11,49	6	3,491	0,196	-1,740	0,113	-1,740	0,126

Tabelle Nr. 2

Messgröße: ERGOMETRIE, systolischer Blutdruck

Expos.- dauer (h)	ohne Ozon ±			mit Ozon ±			statistische Prüfung					
	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	n	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	n	F-Wert	α_F	t_p -Wert	α_t	t_s -Wert	α_{t_s}
26 h 1. min.	166,67	4,41	6	153,33	3,57	6	1,526	0,654	2,351	0,041	2,351	0,043
26 h 2. min	155,83	3,96	6	145,83	3,96	6	1,000	1,000	1,786	0,104	1,786	0,104
32 h (Ruhe)	127,50	4,43	6	118,33	3,57	6	1,540	0,647	1,612	0,138	1,612	0,142
74 h (Ruhe)	122,50	3,10	6	135,93	3,10	6	1,538	0,648	-3,372	0,007	-3,372	0,008
98 h 5. min.	122,50	2,81	6	133,33	4,77	6	2,882	0,270	-1,956	0,079	-1,956	0,086

Tabelle Nr. 3

Messgröße: ERGOMETRIE, diastolischer Blutdruck

Expos.- dauer (h)	ohne Ozon			mit Ozon			statistische Prüfung							
	$\bar{x}$	$\pm$	$s_{\bar{x}}$	n	$\bar{x}$	$\pm$	$s_{\bar{x}}$	n	F-Wert	α_F	t_p -Wert	α_{t_p}	t_s -Wert	α_{t_s}
8 h (Ruhe)	86,100	3,26		6	79,98	4,89		6	2,250	0,394	1,041	0,322	1,041	0,328
74 h (Ruhe)	75,00	3,42		6	87,50	7,04		6	4,237	0,139	-1,597	0,141	-1,597	0,154
74 h 1. min	71,67	2,79		6	83,33	5,87		6	4,427	0,128	-1,794	0,103	-1,794	0,116
74 h 2. min	74,17	4,90		6	88,33	6,79		6	1,920	0,491	-1,691	0,122	-1,691	0,125
98 h 3. min	76,67	4,77		6	89,17	5,39		6	1,277	0,795	-1,737	0,113	-1,737	0,117
98 h 4. min	77,50	4,43		6	90,00	5,77		6	1,696	0,576	-1,718	0,116	-1,718	0,120
98 h 5. min	82,50	2,81		6	91,67	3,80		6	1,829	0,524	-1,940	0,081	-1,940	0,084

Tabelle Nr. 4

Messgröße: REAKTIONSZEIT, 1. Versuch

Expos.- dauer (h)	ohne Ozon			mit Ozon			statistische Prüfung					
	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	n	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	n	F-Wert	α_F	t _p -Wert	α_{t_p}	t _g -Wert	α_{t_g}
2	271,00	15,50	3	219,33	23,18	6	4,473	0,386	1,459	0,188	1,853	0,113
10	287,17	40,92	6	212,50	14,21	6	8,292	0,037	1,724	0,115	1,724	0,136
34	291,33	50,85	6	216,33	7,08	6	51,584	0,001	1,461	0,175	1,461	0,204
54	252,50	34,75	6	193,50	18,34	6	3,590	0,187	1,502	0,164	1,502	0,177
58	279,83	46,21	6	203,50	12,21	6	14,323	0,011	1,597	0,141	1,597	0,171
96	262,17	27,74	6	200,17	10,96	6	6,406	0,063	2,079	0,064	2,079	0,083
98	277,50	58,71	6	196,17	7,05	6	69,350	0,000	1,375	0,199	1,375	0,228
102	254,00	23,28	6	205,50	14,87	6	2,451	0,348	1,756	0,110	1,756	0,117
106	237,83	27,23	6	187,50	9,69	6	7,897	0,041	1,741	0,112	1,741	0,132

REAKTIONSZEIT, 2. Versuch

Me s s e: r Ö r e:

Expos.- dauer (n)	ohne Ozon		mit Ozon		statistische Prüfung							
	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	n	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	n	F-Wert	q'_F	t_p -Wert	q'_{t_p}	t_s -Wert	α_{t_s}	
2	326,33	54,66	3	230,67	29,61	6	1,704	0,545	1,702	0,133	1,539	0,222
10	278,17	39,50	6	175,17	13,80	6	8,193	0,038	2,462	0,034	2,462	0,049
30	296,00	42,65	6	208,83	17,97	6	5,633	0,081	1,883	0,089	1,883	0,109
50	297,50	43,30	6	190,67	7,97	6	29,516	0,002	2,426	0,036	2,426	0,060
82	252,33	49,15	6	167,00	10,09	6	23,728	0,003	1,701	0,120	1,701	0,150
96	239,83	25,01	6	190,17	11,04	6	5,132	0,097	1,817	0,099	1,817	0,119
98	263,17	33,27	6	201,33	9,18	6	13,135	0,013	1,792	0,103	1,792	0,133
102	233,50	26,56	6	178,33	7,02	6	14,315	0,011	2,008	0,072	2,008	0,101
106	232,50	24,36	6	182,50	9,90	6	6,055	0,070	1,902	0,086	1,902	0,106

Tabelle Nr. 6

Messgrößen: REAKTIONSZEIT, 3. Versuch

Expos.- dauer (h)	ohne Ozon +		n	mit Ozon ±		n	statistische Prüfung					
	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$		$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$		F-Wert	α'_F	t_p -Wert	α'_{t_p}	t_s -Wert	α'_{t_s}
10	258,17	31,96	6	194,50	9,69	6	10,878	0,020	1,906	0,086	1,906	0,115
48	223,17	18,77	6	189,33	5,65	6	11,037	0,020	1,726	0,115	1,726	0,145
58	285,33	64,21	6	164,00	19,06	6	11,349	0,019	1,811	0,100	1,811	0,130
74	258,67	42,23	6	188,67	11,32	3	27,834	0,070	1,124	0,298	1,601	0,170
82	247,67	33,33	6	162,67	12,74	6	6,844	0,055	2,382	0,038	2,382	0,055
96	260,00	52,14	6	183,50	8,52	6	37,451	0,001	1,448	0,178	1,448	0,207
106	225,33	22,26	6	182,00	12,07	6	3,401	0,205	1,711	0,118	1,711	0,131

Tabelle Nr. 7

Messergebnisse: REAKTIONSZEIT, 4. Versuch

Expos.- dauer (h)	ohne Ozon			mit Ozon			statistische Prüfung					
	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	n	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	n	F-Wert	α_F	t _p -Wert	α_t	t _p -Wert	α_{t_s}
10	277,67	40,80	6	188,67	10,58	6	14,871	0,010	2,112	0,061	2,112	0,089
72	268,50	46,22	6	188,50	10,32	6	20,059	0,005	1,689	0,122	1,689	0,152
74	234,17	24,92	6	185,00	4,73	3	55,514	0,036	1,343	0,221	1,939	0,110
82	245,50	32,49	6	174,67	9,77	6	11,059	0,020	2,088	0,063	2,088	0,091
102	225,83	29,67	6	182,67	7,96	6	13,893	0,012	1,405	0,190	1,405	0,219
106	236,17	41,49	6	175,83	9,58	6	18,757	0,006	1,417	0,187	1,417	0,216

Tabelle Nr. 8

Messgrößen: REAKTIONSZEIT, 5. Versuch

Expos.- dauer (h)	ohne Ozon $\pm$			mit Ozon $\pm$			statistische Prüfung					
	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	n	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	n	F-Wert	α_F	t-Wert t_p	α_{t_p}	t-Wert t_s	α_{t_s}
2	350,000	42,930	6	232,667	28,721	3	1,117	0,794	+2,320	0,053	+2,272	0,108
10	247,000	43,563	6	169,667	13,200	6	10,891	0,020	+1,699	0,120	+1,699	0,150
50	265,000	57,752	6	182,167	5,890	6	96,133	0,000	+1,427	0,184	+1,427	0,213
54	277,833	31,721	6	196,667	15,403	6	4,241	0,139	+2,302	0,044	+2,302	0,055
58	325,333	60,432	6	202,333	20,856	6	8,396	0,036	+1,924	0,083	+1,924	0,103
96	246,333	27,029	6	183,167	7,392	6	13,374	0,013	+2,254	0,048	+2,254	0,074
102	206,333	18,380	6	175,833	5,147	6	12,751	0,014	+1,598	0,141	+1,598	0,171
106	259,333	49,569	6	169,500	6,015	6	67,906	0,000	+1,799	0,102	+1,799	0,132

Tabelle Nr. 9

Messergebnisse: REAKTIONZEIT, 6. Versuch

Expos. dauer (h)	ohne Ozon			n	mit Ozon			statistische Prüfung						
	$\bar{x}$	$\pm$	$s_{\bar{x}}$		$\bar{x}$	$\pm$	$s_{\bar{x}}$	n	F-Wert	α_F	t _p -Wert	α_{t_p}	t _s -Wert	α_{t_s}
10	253,83		29,28	6	202,50		12,19	6	5,769	0,077	1,618	0,137	1,618	0,157
24	260,00		23,01	6	200,00		9,64	6	5,697	0,079	2,405	0,037	2,405	0,053
58	235,67		10,42	6	204,50		12,48	6	1,434	0,702	1,917	0,084	1,917	0,088
74	238,17		27,88	6	184,67		6,06	3	42,332	0,046	1,305	0,233	1,875	0,120
78	252,17		34,74	6	177,17		11,08	6	9,831	0,025	2,057	0,067	2,057	0,085
96	237,33		30,55	6	180,17		14,23	6	4,609	0,119	1,696	0,121	1,696	0,134
106	251,83		31,75	6	177,50		16,05	6	3,913	0,161	2,089	0,063	2,089	0,075

Tabelle Nr. 10

Messgröße:

FLIMMERVERSCHMELZUNGSFREQUENZ

Exposi- dauer (h)	ohne Ozon $\pm$			mit Ozon $\pm$			statistische Prüfung					
	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	n	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	n	F-Wert	α_F	t_p -Wert	α_{t_p}	t_E -Wert	α_{t_E}
2	8325,67	64,51	3	8147,67	58,56	6	1,648	0,838	1,863	0,105	2,043	0,097
4	8370,00	50,52	3	8127,17	53,69	6	2,259	0,669	2,848	0,025	3,294	0,017
6	8418,00	56,52	3	8181,00	67,13	6	2,821	0,564	2,257	0,059	2,701	0,036
8	8447,67	22,92	3	8137,50	75,52	6	21,713	0,089	2,780	0,027	3,930	0,011
10	8449,00	120,29	3	8133,00	68,12	6	1,559	0,595	2,487	0,042	2,286	0,106
28	8349,00	71,32	3	8117,83	91,95	6	3,324	0,495	1,623	0,149	1,987	0,094
30	8342,67	93,68	3	8136,50	95,81	6	2,092	0,709	1,347	0,220	1,539	0,185
34	8288,67	150,53	3	8011,67	102,87	6	1,071	0,820	1,539	0,168	1,519	0,226
54	8304,67	64,67	3	8090,00	97,78	6	4,572	0,378	1,438	0,194	1,831	0,117
74	8352,00	73,82	3	8098,33	82,51	6	2,499	0,620	1,950	0,092	2,291	0,062
82	8264,00	74,07	6	8113,83	59,00	6	1,557	0,639	1,582	0,145	1,582	0,148

Tabelle Nr. 11

Messgrößen: FARBEINSTELLUNG

Expos.- dauer (h)	ohne Ozon +		mit Ozon +		statistische Prüfung							
	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	n	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	n	F-Wert	α_F	t_p -Wert	α_{t_p}	t_s -Wert	α_{t_s}
2	5041,00	79,00	3	4372,50	355,88	6	40,587	0,048	1,277	0,242	1,834	0,126
26	3486,17	570,67	6	4598,00	306,08	6	3,476	0,198	-1,717	0,117	-1,717	0,130

Tabelle Nr. 12

M e s s g r ü ß e: FARBWIEDERERKENNUNG

Expos.- dauer (h)	ohne Ozon			mit Ozon			statistische Prüfung					
	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	n	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	n	F-Wert	α_F	t_P -Wert	α_{t_P}	t_S -Wert	α_{t_S}
32	3207,83	117,83	6	2971,50	38,28	6	9,475	0,028	1,908	0,086	1,908	0,105

Die Signifikanzgrenze $\alpha \leq 0,05$ wurde bei folgenden Werten erreicht:

I Ergometrie, systolischer Blutdruck:

26 h, 1. min Erholungsphase, $\alpha_{t_s} = 0,043$

74 h, Ruhewert $\alpha_{t_s} = 0,008$

II Reaktionszeit, 2. Versuch:

10 h, $\alpha_{t_s} = 0,049$

III Flimmerverschmelzungsfrequenz:

4 h: $\alpha_{t_s} = 0,017$

6 h: $\alpha_{t_s} = 0,036$

8 h: $\alpha_{t_s} = 0,011$

Ad I:

Diese Werte sind gemäß der vorher gegebenen Definition (nach der jeder 20. als signifikant gekennzeichnete Unterschied auch zufällig zustande gekommen sein kann) bei insgesamt 60 Wertpaaren als zufällig zu interpretieren.

Ad II:

Für diesen Wert trifft bei 20 Wertpaaren dasselbe zu wie unter I aufgeführt.

Ad III:

Bei insgesamt 25 Wertpaaren können diese drei Werte, die die Signifikanzgrenze erreicht haben, nicht mehr als zufällig beurteilt werden, d.f., daß bei der Flimmerverschmelzungsfrequenz signifikante Unterschiede zwischen Ozon- und Kontrollversuch auftraten. (Weiteres siehe bei Diskussion und Beurteilung)

IV. Gegenüberstellung der Mittelwerte jeder einzelnen Versuchsperson

Zur Ermittlung der durchschnittlichen, individuellen Streuung (innerhalb der Gesamtstreuung), ermittelte ich den Mittelwert für jede einzelne VP aus den Messungen beider Versuchsserien (Ozon- und Kontrollversuch) für jede Testreihe.

Die Tabellen Nr. 13 - 24 zeigen eine Gegenüberstellung der Gesamtmittel für jede einzelne VP ($\bar{x}$) und jede Meßgröße.

Mit Hilfe dieser Werte und dem dazugehörigen Gesamtmittel für alle VP ($\bar{\bar{x}}$) wurde zunächst die Summe der Abweichungsquadrate (SAQ) und daraus das Durchschnittsquadrat (DQ) ermittelt.

$$\bar{x}_{VP} = \frac{\sum_t x_{VP} t}{n}; \quad n = \text{Anzahl der bei Versuchsperson VP gemessenen Werte}$$

$$SAQ = n(\bar{x} - \bar{x}_{VP1})^2 + n(\bar{x} - \bar{x}_{VP2})^2 + \dots + n(\bar{x} - \bar{x}_{VPK})^2;$$

$$SAQ = \sum_k^{VP_k} n (\bar{x} - \bar{x}_1)^2$$

$$DQ_{VP} = \frac{SAQ}{VP_k - 1}$$

Analog wurde das Gesamtmittel in der Versuchswoche ($\bar{\bar{x}}_{m.O_3}$) dem der Kontrollwoche ($\bar{\bar{x}}_{o.O_3}$) gegenübergestellt und daraus ebenfalls das dazugehörige DQ_{V_S} errechnet. Damit erhält man schließlich

DQ_{VP} = Durchschnittsquadrat der Versuchspersonen;

σ_{VS} = Durchschnittsquadrat der Versuchsreihen (Ozonversuch/Kontrollversuch)

FG = Freiheitsgrad

Tabelle Nr.		Seite
13	Ergometrie, Pulsverhalten bei Belastung 1., 2., 3. min	88
14	Ergometrie, Pulsverhalten bei Belastung 4., 5., 6. min.	89
15	Ergometrie, Pulsverhalten in Ruhe und während der Erholungsphase, 1.u.2. min	90
16	Ergometrie, Pulsverhalten während der Erholungsphase, 3., 4., 5. min	91
17	Ergometrie, systolischer Blutdruck in Ruhe und Erholung, 1.u.2. min	92
18	Ergometrie, systolischer Blutdruck, Erholung, 3., 4., 5. min	93
19	Ergometrie, diastolischer Blutdruck, Ruhewert, Erholung, 1.u.2. min	94
20	Ergometrie, diastolischer Blutdruck, Erholung, 3., 4., 5. min	95
21	Tiffeneau-Test (FEV_1)	96
22	Reaktionszeit	97
23	Flimmerverschmelzungsfrequenz	98
24	Farberinnerungs- und Farbwahltest	99

Tabelle Nr. 13

Personenmittel

M e ß g r ö ß e: ERGOMETRIE, Pulsverhalten bei Belastung

VP	1. Minute		2. Minute		3. Minute	
	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	n
1	123,4	20	135,6	20	141,4	20
2	107,6	20	113,0	20	115,2	20
3	120,4	20	130,3	20	142,5	20
4	145,0	20	159,8	20	169,2	20
5	141,6	20	153,4	20	158,1	20
6	122,4	20	137,2	20	151,2	20
$\bar{x}$	126,73	120	138,21	120	146,27	120
DQ _{VP}	3963,093	FG 5	5611,23	FG 5	6771,75	FG 5
$\bar{x}_{\text{mit } O_3}$	130,87	60	141,47	60	147,90	60
$\bar{x}_{O_3}$	122,60	60	134,97	60	144,65	60
DQ _{VS}	2050,13	FG 1	1267,50	FG 1	316,87	FG 1

Tabelle Nr. 14

Personenmittel

M e ß g r ö ß e: ERGOMETRIE, Pulsverhalten bei Belastung

VP	4. Minute		5. Minute		6. Minute	
	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	n
1	142,9	20	148,2	20	150,8	20
2	120,0	20	120,4	20	123,2	20
3	148,6	20	158,0	20	165,4	20
4	175,4	20	183,37	19	191,56	18
5	163,0	20	168,4	20	170,74	19
6	156,3	20	163,20	20	170,00	20
$\bar{x}$	151,04	120	156,70	119	161,36	117
DQ _{VP}	7198,29	FG 5	8985,66	FG 5	10251,17	FG 5
$\bar{x}_{\text{mit } O_3}$	152,45	60	157,13	60	161,67	60
$\bar{x}_{O_3}$	149,63	60	156,27	59	161,05	57
DQ _{VS}	238,00	FG 1	22,11	FG 1	11,02	FG 1

Tabelle Nr. 15

Personenmittel

M e ß g r ö ß e: ERGOMETRIE, Pulsverhalten in Ruhe und während der Erholungsphase

VP	Ruhewert		Erholung			
	$\bar{x}$	n	1. Minute		2. Minute	
	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	n
1	78,2	20	108,2	20	99,6	20
2	70,6	20	78,6	20	77,2	20
3	84,2	20	128,8	20	113,4	20
4	96,0	20	148,6	20	137,2	20
5	98,8	20	134,2	20	123,4	20
6	73,2	20	115,8	20	100,8	20
$\bar{x}$	83,5	120	119,03	120	108,6	120
DQ _{VP}	2765,68	FG 5	11849,09	FG 5	8751,36	FG 5
$\bar{x}_{\text{mit } 0_3}$	84,73	60	117,87	60	107,23	60
$\bar{x}_{0.03}$	82,27	60	120,20	60	109,97	60
DQ _{VS}	182,53	FG 1	163,33	FG 1	224,13	FG 1

Tabelle Nr. 16

Personenmittel

M e ß g r ö ß e: ERGOMETRIE, Pulsverhalten während der Erholungsphase

VP	Erholung					
	3. Minute		4. Minute		5. Minute	
	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	n
1	98,0	20	97,4	20	97,6	20
2	78,8	20	81,0	20	79,2	20
3	105,4	20	100,8	20	102,8	20
4	129,3	20	123,6	20	121,2	20
5	121,0	20	114,4	20	112,0	20
6	94,0	20	92,4	20	93,15	20
$\bar{x}$	104,41	120	101,6	120	100,99	120
DQ_{VP}	6804,19	FG 5	4700,48	FG 5	4322,81	FG 5
$\bar{x}_{mit\ 0,3}$	103,10	60	101,07	60	101,85	60
$= x_{0,03}$	105,73	60	102,13	60	100,13	60
DQ_{VS}	208,03	FG 1	34,13	FG 1	88,41	FG 1

Tabelle Nr. 17

Personenmittel

M e ß g r ö ß e: ERGOMETRIE, Verhalten des systolischen
Blutdrucks

VP	Ruhewert		Erholung			
			1. Minute		2. Minute	
	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	n
1	125,5	20	161,5	20	146,5	20
2	125,5	20	160,25	20	145,75	20
3	132,5	20	172,00	20	165,75	20
4	121,0	20	165,25	20	156,5	20
5	133,25	20	161,5	20	152,0	20
6	115,25	20	159,0	20	148,25	20
$\bar{x}$	125,5	120	163,25	120	152,45	120
DQ_{VP}	937,50	FG 5	455,00	FG 5	1165,71	FG 5
$\bar{x}_{mit\ 0_3}$	125,00	60	161,83	60	151,75	60
$\bar{x}_{0.0_3}$	126,00	60	164,67	60	153,17	60
DQ_{VS}	30,00	FG 1	240,83	FG 1	60,21	FG 1

Tabelle Nr. 18

Personenmittel

M e ß g r ö ß e: ERGOMETRIE, Verhalten des systolischen
Blutdrucks

VP	Erholung					
	3. Minute		4. Minute		5. Minute	
	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	n
1	138,25	20	134,25	20	130,75	20
2	134,0	20	129,75	20	125,75	20
3	158,15	20	149,25	20	143,0	20
4	149,25	20	141,25	20	136,25	20
5	143,0	20	137,25	20	134,15	20
6	138,0	20	128,0	20	120,75	20
$\bar{x}$	143,44	120	136,62	120	131,77	120
DQ_{VP}	1583,91	FG 5	1233,87	FG 5	1242,27	FG 5
$\bar{x}_{mit O_3}$	143,38	60	137,08	60	132,05	60
$\bar{x}_{0.03}$	143,50	60	136,17	60	131,50	60
DQ_{VS}	0,41	FG 1	25,21	FG 1	9,07	FG 1

Tabelle Nr. 19

Personenmittel

M e ß g r ö ß e: ERGOMETRIE, Verhalten des diastolischen Blutdrucks

VP	Ruhewert		Erholung			
			1. Minute		2. Minute	
	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	n
1	87,0	20	80,75	20	85,5	20
2	82,0	20	82,25	20	86,5	20
3	95,5	20	84,0	20	88,0	20
4	77,5	20	69,0	20	66,0	20
5	91,5	20	86,25	20	88,25	20
6	70,5	20	64,5	20	64,0	20
$\bar{x}$	84,0	120	77,79	120	79,7	120
DQ_{VP}	1704,0	FG 5	1570,71	FG 5	2624,21	FG 5
$\bar{x}_{mit\ O_3}$	83,83	60	78,75	60	82,00	60
$\bar{x}_{o.O_3}$	84,17	60	76,83	60	77,42	60
DQ_{VS}	3,33	FG 1	110,21	FG 1	630,21	FG 1

Tabelle Nr. 20

Personenmittel

M e ß g r ö ß e: ERGOMETRIE, Verhalten des diastolischen Blutdrucks

VP	E r h o l u n g					
	3. Minute		4. Minute		5. Minute	
	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	n
1	89,5	20	88,25	20	89,75	20
2	84,75	20	85,75	20	84,0	20
3	91,0	20	93,75	20	97,4	20
4	65,75	20	69,10	20	69,5	20
5	89,25	20	92,75	20	93,5	20
6	71,25	20	66,0	20	69,75	20
$\bar{x}$	81,91	120	82,60	120	83,98	120
DQ _{VP}	2307,83	FG 5	2908,00	FG 5	2864,73	FG 5
$\bar{x}_{\text{mit } O_3}$	84,25	60	83,50	60	84,72	60
$\bar{x}_{O_3}$	79,58	60	81,70	60	83,25	60
DQ _{VS}	653,33	FG 1	97,20	FG 1	64,53	FG 1

Tabelle Nr. 21

Personenmittel

M e ß g r ö ß e: TIFFENEAU TEST ($FEV_{1 \text{ sec}}$, % MK)

VP	$\bar{x}$	n
1	86,32	57
2	80,84	59
3	80,51	60
4	88,0	54
5	93,62	54
6	98,45	54
$\bar{\bar{x}}$	87,76	338
$\bar{\bar{x}}_{\text{mit } O_3}$	87,57	180
$\bar{\bar{x}}_{0.0_3}$	87,96	158
DQ_{VP}	2828,0	FG 5
DQ_{VS}	13,0	1

Tabelle Nr. 22

Personenmittel

M e ß g r ö ß e: REAKTIONSZEIT (sec)

VP	$\bar{x}$	n
1	192,486	216
2	198,578	216
3	320,393	216
4	218,585	234
5	215,299	234
6	219,111	234
$\bar{\bar{x}}$	227,330	1350
$\bar{\bar{x}}_{\text{mit } 0_3}$	203,998	684
$\bar{\bar{x}}_{0.0_3}$	250,662	666
DQ_{VP}	475794,873	FG 5
DQ_{VS}	734773,514	FG 1

Tabelle Nr. 23

Personenmittel

M e ß g r ö ß e: FLIMMERVERSCHMELZUNGSFREQUENZ

VP	$\bar{x}$	n
1	7983,45	33
2	7991,24	33
3	8131,24	33
4	8190,80	50
5	8432,10	50
6	8205,14	50
$\bar{x}$	8195,67	249
DQ_{VP}	1148828,95	FG 5
$\bar{x}_{\text{mit } 0_3}$	8120,68	150
$\bar{x}_{0.0_3}$	8270,67	99
DQ_{VS}	1341628,93	FG 1

Tabelle Nr. 24

Personenmittel

M e ß g r ö ß e: FARBERINNERUNGS- und FARBWahlTEST

VP	Farberinnerung		Farbwahl	
	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	n
1	3017,03	29	4387,41	29
2	3088,10	29	4461,49	29
3	3289,00	29	2924,17	29
4	3002,36	28	4039,89	30
5	3120,39	28	4154,83	30
6	2935,89	28	4032,07	30
$\bar{x}$	3076,33	171	4000,08	177
$\bar{x}_{\text{mit } 0_3}$	3081,99	87	4069,49	90
$\bar{x}_{0.0_3}$	3070,67	84	3930,68	87
DQ _{VP}	435483,29	FG 5	8978215,00	FG 5
DQ _{VS}	5442,56	1	852409,86	1

Vergleich: Ozoneinfluß -Versuchspersoneneinfluß

Der Versuchspersoneneinfluß wurde summarisch erfaßt und zum Vergleich zum gesamten Ozoneinfluß ins Verhältnis gesetzt (V-Wert):

Tabelle Nr. 25

Vergleich: $V = \frac{DQ_{VS}}{DQ_{VP}}$; DQ_{VS} = Ozoneinfluß (mit FG=1)
 DQ_{VP} = Versuchspersonen-
varietät (mit FG=5)

Meßgröße	V-Wert = $\frac{DQ_{VS}}{DQ_{VP}}$
Tiffeneau-Test	0,0046
Farberinnerung	0,012
Farbwahl	0,095
Flimmerverschmel- zungsfrequenz	1,17
Reaktionszeit	15,44

Tabelle Nr. 26

V-Werte der ERGOMETRIE $(V = \frac{DQ_{VS}}{DQ_{VP}})$

	Puls	RR Syst.	RR Diast.
Ruhewert	0,0660	0,0320	0,0019
Belastung 1. Min.	0,5173		
Belastung 2. Min.	0,2259		
Belastung 3. Min.	0,0468		
Belastung 4. Min.	0,0331		
Belastung 5. Min.	0,1411		
Belastung 6. Min.	0,0011		
Erholung 1. Min.	0,0138	0,5293	0,0702
Erholung 2. Min.	0,0256	0,0516	0,2401
Erholung 3. Min.	0,0306	0,00026	0,2831
Erholung 4. Min.	0,0073	0,0204	0,0334
Erholung 5. Min.	0,0204	0,0073	0,0225

E) DISKUSSION

I. Problematik und Fehlerquellen

1. Meßmethoden:

a) Ergometrie:

Bei der auskultatorischen Bestimmung des Blutdrucks nach der Methode von Korotkow können Meßfehler entstehen

- durch zu lockeres oder zu festes Anlegen der Manschette, ungleichmäßige Änderung des Manschettendrucks und ungleichmäßiges Aufsetzen des Stethoskops,
- bei der Feststellung der Korotkowgeräusche und ihrer Zuordnung zum Manschettendruck,
- durch Manschetten, deren Breite dem Oberarmumfang inadäquat ist.

Die Herzfrequenz haben wir durch Palpation der Arteria radialis bestimmt, indem wir für die Dauer von 15 Sekunden die Pulsschläge gezählt und anschließend mit 4 multipliziert haben. Dabei ergibt sich ein Zählfehler, der bei einer maximal möglichen Abweichung von ± 2 Pulsschlägen beispielsweise bei einer Frequenz von $120 \pm 1,66\%$ beträgt.

Diese Fehlerquellen sind jedoch meiner Meinung nach zu vernachlässigen, da sie gleichermaßen in den Ozon- und Kontrollversuch eingingen, und es hier weniger um die Feststellung von absoluten Größen als um den Nachweis von Veränderungen geht.

b) Tiffeneau-Test (FEV_{1sec}):

Leider waren nicht genügend Vitalprogrammkarten vorrätig und konnten von der zuständigen Firma trotz rechtzeitiger Meldung des Bedarfs erst mit erheblicher Verzögerung besorgt werden, so daß zu einigen Meßzeiten die Vitalographie ausfallen mußte.

Wie RENZ (58) in seiner Dissertation hinweist, ist der Tiffeneau-Test von der Mitarbeit des Probanden abhängig. Diese mögliche Fehlerquelle dürfte aber für unsere Untersuchungsreihe kaum von Bedeutung sein, da es sich ja um eine freiwillige Mitarbeit handelte.

c) Reaktionszeit:

Aus organisatorischen Gründen fiel die Durchführung der RZ in der ersten Versuchswoche (= Woche ohne Ozoneinfluß) am 1. Tag für die männlichen Versuchspersonen bei den ersten zwei Turns, bei den weiblichen nur beim ersten Turn aus. Aus dem gleichen Grund fehlt auch der Reaktionszeittest für die männliche Gruppe am ersten Tag, erster Turn in der Woche mit Ozon. Am 4. Tag, 2. Turn in der Ozon-Woche (= 74 Std. Exposition) fiel der Test wegen eines Defektes am Gerät aus. Ansonsten war der Test (= siehe Versuchsbeschreibung S. 28) einfach durchführbar, so daß sich hieraus keine größeren Fehlerquellen ableiten lassen.

d) Flimmerverschmelzungsfrequenz:

Wie schon in der Versuchsanordnung angedeutet, gaben wir uns aus organisatorischen Gründen mit einem gemäßigten Helladaptionszustand zufrieden. Da die Tagesbeleuchtung im Versuchsraum durch Xenonhochdrucklampen künstlich geregelt und konstant gehalten wurde, dürften sich daraus keine größeren Unstimmigkeiten ableiten lassen, wiewohl natürlich die absoluten Zahlen unserer Ergebnisse schlecht mit anderen, aus anderen Versuchsreihen gewonnen, vergleichbar sind.

Schwerwiegender zählt, daß in der 1. Woche (= Kontrollwoche) bei den männlichen Versuchspersonen das Gerät vorübergehend ausfiel und kein Ersatz beschafft werden konnte, so daß einige Meßdaten ausfielen.

e) Farbwahl- und -erinnerung:

Apparatur und Methodik waren einfach; Fehlerquellen von seiten der Durchführung sind mir nicht bewußt.

f) Befindlichkeitsprotokoll:

Es besteht kein Anlaß zur Annahme, daß vorsätzlich falsche Angaben gemacht wurden.

2. Reihenfolge der Versuche

Aus organisatorischen Gründen wurde der Reihenfolge nach als erstes der Kontrollversuch, daran anschließend - mit einer Woche Zwischenraum - der Ozonversuch durchgeführt. Es ist anzunehmen, daß die Probanden den Versuch mit einer gewissen Erwartungsspannung begannen, die im Laufe des Experiments und vor allem während des zweiten Durchgangs fehlte, da die Probanden mit den Versuchsgegebenheiten (Klimakammer, Kollegen, Testprogramm) bereits vertraut waren.

3. Individuelle Unterschiede

Ein weiterer wichtiger Parameter bei der Untersuchung der Streubreite der einzelnen Meßwerte stellt der Unterschied zwischen den Personen dar. Zwar versuchten wir ein bezüglich Alter und Gesundheitszustand einigermaßen homogenes Kollektiv zusammenzustellen, aber - verständlicherweise - reagierte jeder Proband gemäß seiner Konstitution und Veranlagung unterschiedlich auf die verschiedenen physischen, psychischen und sozialen Anforderungen während der Versuchswochen.

II. Beurteilung der Ergebnisse

1. Bestehen an den einzelnen Meßterminen Unterschiede zwischen Ozon- und Kontrollreihe?

Die Beurteilung an Hand der graphischen Darstellungen (Abb. I - IX, S. 40 - 69) und statistischen Untersuchungen (Tab. 1 - 12, S. 73 - 84) erlaubt folgende Wertungen:

a) ERGOMETRIE

α) Puls:

Betrachtet man das Verhalten der Pulsfrequenz während der ergometrischen Belastungsprüfung, so ergibt sich folgendes Bild:

Am ersten Tag, erster Turn, zeigt das Pulsverhalten des Kontroll-Versuchs eine deutliche Tendenz zu höheren Werten, die sich aber - zumindest für die Belastungsphase - bereits im 2. Turn des 1. Tages den Werten des Ozon-Versuches angeglichen haben. Man kann feststellen, daß sowohl die Ruhewerte als auch die Werte während der Erholungsphase am ersten Tag mit ozonisierter Luft insgesamt niedriger liegen als am Kontrolltag (Abb. Ia, S. 41).

Das Bild ändert sich am zweiten Tag (Abb. Ib, S. 42): Hier sind vor allem die Werte des Kontrolltages deutlich niedriger als am Vortag, während sich das Pulsverhalten bei Ozon-Exposition kaum von dem des ersten Tages unterscheidet.

Am dritten Tag (Abb. Ic, S. 43) differieren die beiden Kurven (Ozon-/Kontroll-Versuch) nur wenig. Die Kontrollwerte im ersten Durchgang sind im Vergleich zum Vortag, an dem sie ja ziemlich niedrig ausfielen, wieder deutlich höher.

Am vierten Tag (Abb. Id, S. 44) sind beim Kontroll-Versuch die Werte bei Belastung, beim Ozon-Versuch dagegen die in Ruhe und bei der Erholungsphase höher.

Am fünften Tag (Abb. Ie, S. 45) liegen alle Werte minimal über denen des Kontroll-Tages.

Der besseren Übersicht wegen zeigt Abb. I, S. 40 das Verhalten des jeweiligen Ruhepulses und der in der 6. Minute Belastung gezählten Pulsfrequenz im Verlauf der fünf Tage noch einmal.

Dabei wird deutlich, daß der Ruhewert unter Ozoneinfluß stärker schwankt und - mit Ausnahme des letzten Tages - eine gewisse Tagesrhythmik zeigt: Der um 10 Uhr gemessene Wert liegt immer über demjenigen von 16 Uhr. Die "Belastungsfrequenz" weist diese Rhythmik nicht auf. Sie zeigt insgesamt einen ruhigeren Verlauf als im Kontroll-Versuch und pendelt nur mäßig um eine mittlere Frequenz von 160/min. Nur der letzte Turn macht eine Ausnahme: Bei beiden Versuchsreihen steigt die Frequenz, was aber ganz einfach durch die Freude auf das bevorstehende Versuchsende erklärt werden kann.

Insgesamt läßt sich also kein systematischer Einfluß der ozonisierten Luft auf das Pulsverhalten während der ergometrischen Belastungsprüfung feststellen. Die von anderen Autoren - allerdings bei wesentlich höheren Konzentrationen beobachtete Bradykardie stellte sich bei unseren Versuchen nicht ein.

/3) Systolischer Blutdruck

Bei der Durchsicht der Kurven (Abb. IIa - IIe, S. 46 - 50) fällt die Tendenz zu niedrigeren Werten im ersten Turn des Ozon-Versuchs auf, die sich jedoch ziemlich genau mit jenen des letzten im Kontrollversuch decken, folglich wahrscheinlich durch die Übung der vorausgegangenen Woche und Vertrautheit mit der Umgebung erklärt werden kann.

Auffälliger hingegen scheint mir, daß am 2. Tag in beiden Turns der in der ersten Minute der Erholungsphase, also un-

mittelbar nach Belastung gemessene systolische Blutdruck deutlich unter dem des Kontrolltages, auch noch deutlich unter dem des Vortages liegt. Dieser Wert ist der niedrigste von allen in der 1. Minute der Erholungsphase gemessenen Werte sowohl im Kontroll- als auch im Ozon-Versuch.

Jedoch am 3. Tag ändert sich dieser Trend: Im ersten Durchgang liegen die Ozon-Werte in den ersten Minuten der Erholungsphase etwas über den Kontrollwerten. Im weiteren Verlauf nähern sich die Daten aus beiden Versuchsreihen im gering wechselnden Maße an, ohne daß irgendeine Tendenz erkennbar wäre.

r) Diastolischer Blutdruck:

Am ersten Tag (Abb. IIIa, S. 51) liegen nur die Ruhewerte unter denen des Kontroll-Tages, am 2. Tag/2. Turn zusätzlich noch alle Werte der Erholungsphase (Abb. IIIb, S. 52). An den folgenden Tagen zeigen die Ozon-Werte eher die Tendenz leicht über denjenigen der Kontroll-Tage zu liegen, ohne jedoch einen signifikanten Unterschied aufzuweisen (Abb. IIIc bis IIIe, S. 53 - 55, Tab. 3, S. 75).

Die Tendenz zur Hypotonie ist also allenfalls am 2. Tag leicht angedeutet.

b) Tiffeneau-Test (FEV_1)

Wie die Abb. IVa - IVc (S. 56 - 58) zeigen, differieren die Werte Ozon-Versuch/Kontroll-Versuch am meisten am ersten Tag im ersten Versuch. Dabei lagen die Ergebnisse des Kontroll-Versuchs deutlich unter denen des Ozon-Versuchs und zeigten auch die größte Streuung, was wieder durch die Tatsache, daß der Kontroll-Versuch dem Ozon-Versuch voranging und dem noch fehlenden Übungseffekt erklärlich wird. Insgesamt läßt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Versuchs-

reihen feststellen. Allenfalls läßt sich eine Tendenz zu leicht niedrigeren Mittelwerten im Ozon-Versuch ab dem dritten Tag feststellen.

c) Reaktionszeit

Um die interindividuelle Streuung bei den Reaktionszeitmessungen darzustellen, wurden in Abb. Va-f (S. 59-64) für jede der 6 verwendeten Reaktionszeitversuche der Zeitverlauf getrennt dargestellt. Die so erhaltenen Verläufe weisen teilweise eine deutliche Trennung zwischen Ozon- und Kontrollversuch auf, ohne daß es - wie die statistische Prüfung zeigt (Tab. 4-9, S. 76 - 81) - an den entsprechenden Meßterminen zu signifikanten Unterschieden kommt.

Andererseits liegen insgesamt viele Mittelwerte bei der Ozon-Meßreihe unter denen der Kontrollwoche; diese Unterschiede treten in Abb. Vg (S. 65) sehr deutlich zutage. Hier wurden die zum jeweiligen Meßzeitpunkt errechneten Mittelwerte von allen 6 Wiederholungsmessungen aus den Mittelwerten aller 6 Versuchspersonen gebildet und die hierbei errechnete Streuung des Mittelwertes ($n = 36$) eingezeichnet.

Die beschriebenen Befunde lassen sich zwanglos mit einem sehr merklichen Übungseffekt bei der Ausführung des Tests erklären. Dafür spricht insbesondere der steile Abfall am Anfang der Kontrollperiode, dann die Tatsache, daß das Anfangsniveau der nachfolgenden Ozonperiode praktisch mit der am Ende der Kontrollperiode erreichten Reaktionszeit übereinstimmt, ferner der ruhigere Verlauf der Kurven aus der Ozonwoche.

d) Flimmerverschmelzungsfrequenz

Wie die statistische Prüfung zeigte, bestehen signifikante Unterschiede zwischen Ozon- und Kontrollversuch nur bei der

Flimmerverschmelzungsfrequenz. Interessanterweise fanden alle Messungen, die eine Signifikanz aufweisen, am 1. Versuchstag statt, nämlich nach 4, 6 und 8 Stunden Expositionszeit (Tab. 10, S. 82). Wiederholt man nun unter Berücksichtigung der Tatsache, daß zu den genannten Meßterminen keine Daten der männlichen Versuchsgruppe aus der Kontrollwoche vorliegen, die statistische Prüfung nur mit den von den weiblichen Versuchspersonen erhaltenen Werten, so zeigt sich, daß sich kein signifikanter Unterschied ergibt (siehe Zusatz-Tabelle 27, S. 110).

Die graphische Darstellung (Abb. VI, S. 65) zeigt deutliche Unterschiede im Verlauf der Kurven, die sich im Laufe der Zeit immer mehr annähern und am letzten Tag nur noch geringfügig differieren. Daß die am ersten Tag der in der Kontrollwoche erhaltenen Werte von allen übrigen merklich abweichen, findet seine Erklärung vermutlich darin, daß an diesem Tag die Probanden zum ersten Mal mit diesem Test konfrontiert wurden und dementsprechend unsicher waren. Dem entspricht der insgesamt ruhigere Verlauf der Kurve in der Ozon-Woche (in der allen VP's der Test von der Vorwoche her bereits bekannt war) sowie die Tatsache, daß die Werte vom letzten Tag der Versuchswoche in Normalluft mit denen des ersten Tages in ozonisierter Luft nahezu deckungsgleich sind.

Im übrigen findet die Tatsache, daß zu Beginn der Versuchsperiode die Werte der FVF hoch sind und dann allmählich absinken, Übereinstimmung mit den Befunden von SCHAPPLER (60), dessen Versuchspersonen anfangs ebenfalls die FVF hoch ansetzten.

e) Farbwahl und Farberinnerung

Die von beiden Testen aus Kontroll- und Ozonversuch erhaltenen Verläufe (Abb. VII, VIII, S. 67, 68) zeigen weder über die reguläre Streubreite hinausgehende Unterschiede noch lassen sie irgendwelche Tendenzen erkennen.

Tabelle Nr. 27

M e ß g r ö ß e: FLIMMERVERSCHMELZUNGSFREQUENZ, weibliche VP's

Expos.- dauer (h)	ohne Ozon		mit Ozon		statistische Prüfung							
	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	n	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	n	F-Wert	F	t_p -Wert	t_p	t_s -Wert	t_s
4	8370,00	50,52	3	8223,33	64,852	3	1,648	0,755	1,784	0,149	1,784	0,172
6	8418,00	56,52	3	8239,66	64,240	3	1,292	0,873	2,084	0,106	2,084	0,129
8	8447,67	22,92	3	8263,33	112,0154	3	182,482	0,00	5,198	0,00	1,645	0,242

f) Befindlichkeitsprotokoll

Bei der Durchsicht der Bögen fiel zunächst einmal ein gewisser Unterschied in der Reaktion der weiblichen zu der männlichen Gruppe auf. Offensichtlich schienen sich die männlichen Probanden den besonderen Lebensbedingungen, die der einwöchige Aufenthalt in der Klimakammer mit sich brachte, besser anzupassen.

Im einzelnen ergab sich folgendes Bild (Tab. 28, S. 112):

In der ersten Versuchswoche, das ist die Woche mit Normalluft, gaben die Versuchspersonen 27mal an, sich froh, heiter u.s.w. gefühlt zu haben, in der Woche mit ozonisierter Luft 30mal. Wie die Aufschlüsselung zeigt, ist diese Zunahme nur auf die männliche Versuchsgruppe zurückzuführen, während bei der weiblichen sogar eine Abnahme der positiven Beantwortung der ersten Frage zu verzeichnen ist. Frage Nr. 2 wird in der Woche ohne Ozon insgesamt viermal bejaht, in der Woche mit O₃ dreimal. Durchschnittlich, ohne Besonderheiten fühlten sich bei Normalluft die Probanden 26mal, unter Ozon nur 20mal. Die Abnahme ist durch die positivere Stimmungslage der männlichen Versuchspersonen in der Ozon-Woche begründet. Die 5. Frage wird von beiden Gruppen in der Ozon-Woche einmal weniger bejaht. Dies ist insofern interessant, als offensichtlich hohe Konzentrationen (4) einschläfernd wirken und auch bei niedrigeren Konzentrationen eine gewisse Lethargie, Müdigkeit und Konzentrationsverlust beschrieben wurden (29, 40, 48).

Die Tendenz, daß sich die weibliche Versuchsgruppe offensichtlich etwas schlechter fühlte als die männliche, setzt sich bei der Betrachtung der Angaben über die Beschwerden fort. Die männlichen Versuchspersonen gaben in keiner der beiden Versuchsreihen irgendwelche Beschwerden an. Die Stimmungslage schien bei ihnen in der 2. Woche, also während

Ozon-Exposition, sogar etwas besser zu sein, was nach unseren Beobachtungen darauf zurückzuführen war, daß man sich schon besser kannte und sich noch besser auf diese Woche in der Isolation vorbereitet hatte. Insgesamt wurde eine Zunahme der freiwilligen, spontanen Aktivitäten bei den männlichen Probanden in der zweiten Versuchswoche beobachtet.

Bei den weiblichen Versuchspersonen wurde je einmal über leichten Kopfschmerz sowie über Narbenbeschwerden in der Woche mit Normalluft geklagt. Am zweiten, dritten und vierten Tag der Woche mit ozonisierter Luft gaben zwei der drei Frauen eine "leichte Erkältung" zu Protokoll (ohne dabei diese durch eine Eintragung auf der Skala genauer zu klassifizieren), wobei ein einziges Mal zusätzlich noch ein "Stechen in der Brust" vermerkt war (VP 5, 3. Tag/12 Uhr). Einmal, am 2. Tag der Ozon-Exposition wurden leichte Atembeschwerden und Husten von VP 6 angegeben. Es fällt schwer zu sagen, ob diese "leichte Erkältung" der Ozon-Exposition zuzuschreiben ist oder in der dazwischengelegenen Woche draußen erworben wurde, (Der Versuch fand im Februar statt, eine Zeit, in der die Infektanfälligkeit allgemein höher liegt.) oder einen psychischen Hintergrund hatte. (Bei VP 5 fällt die Erkältung zeitlich mit den Menses zusammen.)

Insgesamt fiel das lustlosere Verhalten der weiblichen Gruppe in beiden Versuchsreihen auf. Während die männlichen Versuchspersonen - eigenen Angaben zufolge - diese zwei Wochen nicht nur als günstige Gelegenheit zum Geld-Erwerb betrachteten, sondern auch ihre eigene Reaktion auf die freiwillige Isolation in den doch etwas beengten Verhältnissen der Klimakammer testen wollten, schienen die weiblichen Probanden nur das erstere Motiv zu haben und versuchten die Zeit so schnell wie möglich hinter sich zu bringen. Ob irgendwelche Spannungen innerhalb der Gruppen auftauchten, ist uns nicht bekannt.

Betrachtet man den Verlauf der Durchschnitte aus den skalierten Angaben über die Stimmungslage (siehe Abb. IX, S. 69), so ergibt sich ein für solche Zeitreihen typisches Bild: Die anfänglich gute Stimmung sinkt im Bewußtsein der noch vor dem Probanden liegenden Untersuchungsdauer und erreichte in unserem Falle am Morgen des 2. Versuchstages in beiden Versuchsreihen den tiefsten Punkt, um dann, mit dem Herannahen des Versuchsendes zusehends besser zu werden und am letzten Tag einen gewissen Höhepunkt zu erreichen. Diese Grundtendenz wird von einem Tagesrhythmus überlagert: Am Abend - nach dem Absolvieren des für vielleicht manchen lästigen Testprogramms des Tages - ist die Stimmung etwas gehobener.

Insgesamt läßt sich kein systematischer Einfluß der Ozon-Exposition erkennen.

2. Lassen sich insgesamt Unterschiede zwischen Ozon- und Kontrollversuch bei den einzelnen Meßgrößen zeigen?

Nur bei der optischen Reaktionszeit läßt sich insgesamt ein statistisch gesicherter Unterschied zwischen Ozon- und Kontrollversuch nachweisen. Die in Tab. 25, S. 100 wiedergegebene Varianzanalyse zeigt, daß der größte Anteil der Varianz diesem Unterschied zuzurechnen ist. Der nächstgrößere Anteil gehört zu den Niveauunterschieden in der Reaktionszeit der verschiedenen Versuchspersonen. Auf den Durchschnittsverlauf hat er jedoch keinen Einfluß. Bei den einfachen Wechselwirkungen erscheint diejenige zwischen Personen und Ozon/Kontrolldurchgang wieder als größter Posten, die Differenz zwischen den beiden Durchgängen fällt also je nach Versuchsperson deutlich verschieden aus. Wie schon vorher erwähnt, lassen sich die beschriebenen Befunde zwanglos mit einem leider sehr merklichen Übungseffekt erklären.

3. Sind die Versuchspersonen untereinander vergleichbar?

Um die Versuchspersonen auf ihre Gleichwertigkeit zu prüfen, bedient man sich am besten des Mittelwertes jedes einzelnen Probanden über den gesamten Zeitablauf einer Meßgröße. Dieser erlaubt einen schnellen Überblick über die Größenunterschiede der Meßergebnisse zwischen den einzelnen Versuchspersonen. Diese Personenmittelwerte sind in den Tabellen 13 bis 24, S. 88 - 99 aufgeführt. Es zeigt sich, daß ein merkbarer Unterschied zwischen der männlichen Versuchsgruppe (= VP 1, VP 2, VP 3) und der weiblichen (= VP 4, VP 5, VP 6) besteht, der unter Umständen zu berücksichtigen ist.

III. Vergleich mit einschlägigen Informationen aus der Literatur

Die eingangs gegebene Literatur-Übersicht kann keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Gerade in den letzten Jahren kam es zu einer Fülle von Veröffentlichungen zu dem Thema der Toxizität des Ozons. Die meisten der Untersuchungen fanden aber entweder bei wesentlich höheren Konzentrationen statt oder versuchten die Wirkungen von Ozon mittels histologischer oder biochemischer Methoden an Zellkulturen, Pflanzen oder Tieren nachzuweisen, deren Ergebnisse nur sehr bedingt mit den unsrigen vergleichbar sind.

Am häufigsten wurden die Wirkungen von Ozon auf die Atemwege untersucht. Zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse wäre es einfach, gemäß dem modifizierten Schema nach THORP/LAGERWERFF (Abb.1, S. 13), wonach in gewissen Bereichen das Produkt aus Konzentration und Expositionsdauer als "Dosisgröße" gelten kann, vorzugehen. Dies mag bei Kurzzeiterfahrungen durchaus berechtigt sein: Die von mir in der Litera-

tur-Übersicht zitierten Autoren HALLETT, FOLINSBEE und YOUNG, die mit einer Dosis von 1,5 ppmStunden bzw. 1,6 ppmStunden experimentierten, kamen durchaus zu ähnlichen Ergebnissen. Wesentlich schwieriger, wenn nicht unmöglich, wird dieses Verfahren bei der Beurteilung von länger dauernden Versuchen. So hat z.B. BENNET bei 43,2 ppmStunden, einer deutlich höheren Dosis, keine Veränderungen festgestellt, sondern fand erst bei 108 ppmStunden eine signifikante Abnahme des Atemstoß-Tests (FEV_1). (Die Konzentration, mit der BENNET hierbei arbeitete, wurde in dem Artikel "Photochemical Air Pollutants and their Effects on Men and Animals" fälschlicherweise mit 0,05 ppm statt mit 0,5 ppm, wie aus der Originalarbeit, veröffentlicht in Aerospace Medicine, LV 3, hervorgeht, angegeben.) KERR, der "nur" mit 3,0 ppmStunden (0,5 ppm für 6 Stunden) experimentierte, fand zwar eine signifikante Abnahme der FEV_3 , jedoch keine der FEV_1 .

Wir, die wir mit der Dosis von 10,6 ppmStunden arbeiteten und dabei keine signifikante Änderung der FEV_1 feststellten, können unser Ergebnis mühelos in die bisher beschriebenen Befunde einordnen, wenngleich ich persönlich diese "Dosisgröße" - wenn überhaupt - nur mit sehr großen Einschränkungen gelten lassen möchte.

Bei einigen Klimakammernversuchen anderer Autoren wurden auch Ergometrien durchgeführt, aber offensichtlich nur zu dem Zweck der Steigerung der Sauerstoffaufnahme und somit besserer Beurteilung des Verhaltens des menschlichen Organismus auf O_3 unter Arbeitsbedingungen. Offensichtlich wurden dabei nie Blutdruck und Herzfrequenz kontrolliert, so daß uns hierbei Vergleichsmöglichkeiten fehlen.

Interessant sind die Ergebnisse von LAGERWERFF (44): Er stellte keine Veränderungen des Farbsehens (color vision) fest, ein Befund, der mit dem Ausbleiben einer Änderung

unseres Farberinnerungstests in Einklag steht. Ferner fand LAGERWERFF eine beachtliche, wenn auch nicht signifikante Änderung der extra-oculären Muskelbalance, ein Befund, der auf eine neurologische Wirkung von O_3 hinweist. Wie schon beschrieben, fanden auch wir deutliche, aber nicht signifikante Unterschiede im Verlauf der Kurven der Flimmerverschmelzungsfrequenz, ein Test, der in erster Linie über neurologische Veränderungen des Sehorgans Aufschluß gibt.

Die Ergebnisse des Reaktionszeittests widersprechen allerdings der sowohl von LAGERWERFF als auch anderen Autoren (4, 29, 31, 48) beschriebenen Lethargie und Müdigkeit. Freilich arbeiteten die meisten der angeführten Autoren mit wesentlich höheren Konzentrationen.

IV. Verbesserungsvorschläge für künftige Arbeiten

Eines der schwierigsten Probleme, das bei der Diskussion der Ergebnisse auftaucht, ist der Ausschluß von Übungseffekten. Durch die Reihenfolge der Versuche, eine Woche Kontroll-Versuch, eine Woche Pause, eine Woche Ozon-Versuch, deren Anordnung aus organisatorischen Gründen nicht zu ändern war, waren Gewöhnungs- und Übungseffekte nicht vermeidbar. Zwar hätten wir bei einer der beiden Versuchsgruppen den Ozonversuch vorausstellen können, wären aber dann wahrscheinlich bei der Beurteilung der Ergebnisse an der Frage der Vergleichbarkeit der beiden Personengruppen gescheitert.

Eine Lösung dieses Problems für künftige Untersuchungen sollte durch dementsprechend lange Vorversuche, bei denen die Probanden optimal auf die Versuchsbedingungen vorbereitet und für die einzelnen Tests trainiert werden, möglich sein.

Wie diese Untersuchung zeigt, sind bei der von uns gewählten, doch recht niedrigen Ozon-Konzentration keine sofort ins Auge springenden Ergebnisse zu erwarten. Daraus folgt, daß man die Meßmethoden, mit denen man eventuell doch vorhandene Reaktionen aufspüren kann, verfeinern muß.

So z.B. könnte man die Ergometrie mit der Schreibung eines Elektrokardiogramms koppeln. Änderungen im pulmonalen Kreislauf ließen sich so durch Zeichen einer Rechtsherzbelastung ebenso dokumentieren wie eventuelle intrazelluläre Elektrolytverschiebungen.

Ferner wäre zu überlegen, ob der Tiffeneau-Test durch einen Ganz-Körper-Plethysmographen zu ersetzen sei, wiewohl man aber den erheblichen finanziellen und personellen Mehraufwand berücksichtigen sollte.

Wichtig erscheint mir auch noch, die Möglichkeiten und Aussagekraft der Flimmerverschmelzungsfrequenz, über die nur wenig Literatur vorliegt, genauer auszuloten. Da offensichtlich bei diesem Test wie auch bei der Reaktionszeit signifikante Unterschiede allenfalls am ersten Versuchstag erwartet werden könnten, wäre es interessant, diese beiden Versuchsreihen nach Ausschluß von Übungseffekten durch Vorversuche und eventuell mehrfach vertauschter Anordnung von Ozon- und Kontrollversuch im Rahmen von Kurzzeitversuchen zu wiederholen.

Ferner wäre es wohl für die Beurteilung der Ergebnisse einfacher, nur die Reaktionen von männlichen oder weiblichen Probanden zu untersuchen, da doch zwischen beiden Versuchsgruppen erhebliche, offensichtlich geschlechtsspezifische Unterschiede bestanden.

V. Kritische Anmerkung zur Wertung der Ergebnisse

Die Toxizität von Ozon in bestimmten Konzentrationen für Mensch und Tier wird von niemandem in Zweifel gezogen. Bei welcher Konzentration und wie langer Expositionszeit die gesundheitsschädigende Wirkung für den Menschen beginnt, ist allerdings umstritten. Es sollte deshalb in der vorliegenden Arbeit untersucht werden, ob sich im Bereich der maximal zulässigen Arbeitsplatzkonzentration von 0,1 ppm (200 Mikrogramm/m³) bei einer Expositionsdauer von 106 Std. an gesunden Versuchspersonen Anzeichen für funktionelle Änderungen und physiologische sowie psychosensorische Reaktionen finden lassen.

Wie die vorangegangene Diskussion zeigt, ergab keine der hier angewandten Untersuchungsmethoden einen eindeutigen, statistisch gesicherten Unterschied zwischen Ozon- und Kontrollversuch. Daraus jedoch den Schluß zu ziehen, Ozon würde bei der hier vorgegebenen Konzentration und Einwirkdauer keine Reaktionen hervorrufen, wäre in jedem Falle verfrüht. Wie eingangs erläutert, sind die Wirkungen von O₃ sehr komplexer und längst noch nicht genau erforschter Natur. Deshalb wäre es sehr wohl denkbar, daß andere Meßmethoden mit ausreichender Empfindlichkeit und Spezifität einen Wirkungsnachweis erbrächten. Außerdem kann dieser Versuch langfristige (chronische) Wirkungen der hier vorgegebenen Ozon-Konzentration und Einwirkdauer nicht ausschließen. Ferner wird hier keine Aussage über mögliche Schädigungen der hier verwendeten Ozon-Konzentration in Kombination mit anderen Bestandteilen des sogenannten Photosmogs gemacht. Zusätzlich müßte man das Verhalten von Menschen untersuchen, deren Organismus vermutlich wesentlich sensibler auf derartige Umweltgifte reagiert, wie Kranke, Kinder und alte Menschen.

F) ZUSAMMENFASSUNG

1. Es sollte die akute Wirkung von Ozon am Menschen an Hand von bestimmten Meßgrößen unter konstanten Versuchsbedingungen bei längerer Einwirkdauer geprüft werden.
2. Die Höhe der Ozon-Konzentration wurde auf 0,1 ppm (= maximal zulässige Arbeitsplatzkonzentration), die Versuchsdauer von Kontroll- und Ozon-Versuch auf je 106 Stunden (= 5 Tage und 4 Nächte) festgesetzt.
3. Als Versuchspersonen standen je drei weibliche und drei männliche gesunde Studenten im Alter zwischen 20 und 30 Jahren zur Verfügung.
4. Der Zeitplan eines Versuchstages sah folgendermaßen aus:
 - 8 Uhr: Blutentnahme(Hämatokrit, Erythrocyten, Hämoglobin, Elektrolyte), 1. Urinprobe (HMMS, Kreatinin);
 - 10 Uhr: Tiffeneau-Test (relative 1-sec-Kapazität = FEV₁), Ergometrie, Farbteste, Flimmerverschmelzungsfrequenz, Reaktionszeit;
 - 11 Uhr: 2. Urinprobe;
 - 12 Uhr: Stimmungsbogen, Flimmerverschmelzungsfrequenz;
 - 14 Uhr: Farbteste, Flimmerverschmelzungsfrequenz, Reaktionszeit;
 - 15 Uhr: 3. Urinprobe;
 - 16 Uhr: Blutabnahme (s.o.), Ergometrie, Tiffeneau-Test, Farbteste, Flimmerverschmelzungsfrequenz;
 - 18 Uhr: 4. Urinprobe, Stimmungsbogen, Reaktionszeit, Flimmerverschmelzungsfrequenz.
5. Diese Arbeit befaßt sich mit den Meßgrößen der Kreislauf- und Atemfunktion (Ergometrie, Tiffeneau-Test) sowie psychophysischer Tests (Flimmerverschmelzungsfrequenz, Farbteste, Reaktionszeit, Stimmungsangaben). Bezüglich der Meßgrößen von Blut und Urin wird auf die Arbeit von GREGOR verwiesen.

6. Sämtliche quantitativ erfaßbaren Meßergebnisse wurden zwecks statistischer Prüfung und übersichtlicher Ergebnisdarstellung am Leibniz-Rechenzentrum der Bayerischen Akademie der Wissenschaften ausgewertet.
7. Als zusammenfassendes Ergebnis läßt sich berichten, daß mit den angewandten Methoden während der Expositionsdauer von 106 Stunden (= 5 Tage und 4 Nächte) kein gesicherter Einfluß von Ozon auf gesunde Versuchspersonen bei 0,1 ppm Konzentration festgestellt werden konnte.

LITERATUR-VERZEICHNIS

- 1 ANDREWS, T.: OZONE: V. PHYSIOLOGICAL EFFECT
 OF OZONE
 Ann. Physik 152:311-331, (1874)

- 2 BATES, D.V., BELL, G.M., SHORT-TERM EFFECTS OF OZONE ON
 BURNHAM, C.D., THE LUNG
 HAZUCHA, M., MANTHA, Journal of Applied Physiology
 J., PENGELLY, L.D., Vol. 32: 176 (1972)
 SILVERMAN, F.:

- 3 BENNET, G.: OZONE CONTAMINATION OF HIGH
 ALTITUDE AIRCRAFT CABINS
 Aerospace Medicine 33: 969 (1962)

- 4 BINZ, C.: OZONISIERTE LUFT, EIN SCHLAF-
 MACHENDES GAS
 Berliner Klinische Wochenschrift
 No. 1:6; No. 2:17; No. 43:645
 (1882)

- 5 BORN, W.C., CAROLI, G., OZONMESSUNGEN BEI DER DERMATOLOGI-
 DOHM, J.: GISCHEN FERNBESTRAHLUNG
 Strahlentherapie 3:312 (1960)

- 6 BRINKMAN, R., OZONE AS A POSSIBLE RADIOMETIC
 LAMBERTS, H.B.: GAS
 Nature 181:1202 (1958)

- 7 BRINKMAN, R., RADIOMIMETIC TOXICITY OF OZONISED
 LAMBERTS, H.B., AIR
 VENINGA, T.S.: Lancet 18:133 (1964)

6. Sämtliche quantitativ erfaßbaren Meßergebnisse wurden zwecks statistischer Prüfung und übersichtlicher Ergebnisdarstellung am Leibniz-Rechenzentrum der Bayerischen Akademie der Wissenschaften ausgewertet.
7. Als zusammenfassendes Ergebnis läßt sich berichten, daß mit den angewandten Methoden während der Expositionsdauer von 106 Stunden (= 5 Tage und 4 Nächte) kein gesicherter Einfluß von Ozon auf gesunde Versuchspersonen bei 0,1 ppm Konzentration festgestellt werden konnte.

LITERATUR-VERZEICHNIS

- 1 ANDREWS, T.: OZONE: V. PHYSIOLOGICAL EFFECT
 OF OZONE
 Ann. Physik 152:311-331, (1874)
- 2 BATES, D.V., BELL, G.M., SHORT-TERM EFFECTS OF OZONE ON
 BURNHAM, C.D., THE LUNG
 HAZUCHA, M., MANTHA, Journal of Applied Physiology
 J., PENGELLY, L.D., Vol. 32: 176 (1972)
 SILVERMAN, F.:
- 3 BENNET, G.: OZONE CONTAMINATION OF HIGH
 ALTITUDE AIRCRAFT CABINS
 Aerospace Medicine 33: 969 (1962)
- 4 BINZ, C.: OZONISIERTE LUFT, EIN SCHLAF-
 MACHENDES GAS
 Berliner Klinische Wochenschrift
 No. 1:6; No. 2:17; No. 43:645
 (1882)
- 5 BORN, W.C., CAROLI, G., OZONMESSUNGEN BEI DER DERMATOLOGI-
 DOHM, J.: GISCHE FERNBESTRAHLUNG
 Strahlentherapie 3:312 (1960)
- 6 BRINKMAN, R., OZONE AS A POSSIBLE RADIOMETIC
 LAMBERTS, H.B.: GAS
 Nature 181:1202 (1958)
- 7 BRINKMAN, R., RADIOMIMETIC TOXICITY OF OZONISED
 LAMBERTS, H.B., AIR
 VENINGA, T.S.: Lancet 18:133 (1964)

6. Sämtliche quantitativ erfaßbaren Meßergebnisse wurden zwecks statistischer Prüfung und übersichtlicher Ergebnisdarstellung am Leibniz-Rechenzentrum der Bayerischen Akademie der Wissenschaften ausgewertet.
7. Als zusammenfassendes Ergebnis läßt sich berichten, daß mit den angewandten Methoden während der Expositionsdauer von 106 Stunden (= 5 Tage und 4 Nächte) kein gesicherter Einfluß von Ozon auf gesunde Versuchspersonen bei 0,1 ppm Konzentration festgestellt werden konnte.

LITERATUR-VERZEICHNIS

- 1 ANDREWS, T.: OZONE: V. PHYSIOLOGICAL EFFECT
 OF OZONE
 Ann. Physik 152:311-331, (1874)
- 2 BATES, D.V., BELL, G.M., SHORT-TERM EFFECTS OF OZONE ON
 BURNHAM, C.D., THE LUNG
 HAZUCHA, M., MANTHA, Journal of Applied Physiology
 J., PENGELLY, L.D., Vol. 32: 176 (1972)
 SILVERMAN, F.:
- 3 BENNET, G.: OZONE CONTAMINATION OF HIGH
 ALTITUDE AIRCRAFT CABINS
 Aerospace Medicine 33: 969 (1962)
- 4 BINZ, C.: OZONISIERTE LUFT, EIN SCHLAF-
 MACHENDES GAS
 Berliner Klinische Wochenschrift
 No. 1:6; No. 2:17; No. 43:645
 (1882)
- 5 BORN, W.C., CAROLI, G., OZONMESSUNGEN BEI DER DERMATOLOGI-
 DOHM, J.: GISCHE FERNBESTRAHLUNG
 Strahlentherapie 3:312 (1960)
- 6 BRINKMAN, R., OZONE AS A POSSIBLE RADIOMETIC
 LAMBERTS, H.B.: GAS
 Nature 181:1202 (1958)
- 7 BRINKMAN, R., RADIOMIMETIC TOXICITY OF OZONISED
 LAMBERTS, H.B., AIR
 VENINGA, T.S.: Lancet 18:133 (1964)

- 8 BRUCH, J.,
SCHLIPFÖTER, H.W.: VERÄNDERUNGEN DER LUNGENALVEOLEN
BEI DER MAUS NACH CHRONISCHER EX-
POSITION IN NIEDRIGER KONZENTRATION
Virchows Archiv Abt. A
Path. Anatomie, S. 365 (1973)
- 9 CHOW, C.K., MUSTAFA,
M.G., CROSS, C.E.: EFFECTS OF OZONE EXPOSURE ON THE
LUNGS AND ERYTHROCYTES OF RATS
AND MONKEYS
Environmental Physiology and
Biochemistry (1975)
- 10 CHOW, C.K., TAPPEL,
A.L.: ACTIVITIES OF PENTOSE SHUNT AND
GLYCOLYTIC ENZYMES IN LUNGS OF
OZONE-EXPOSED RATS
Archives of Environ. Health 26:205
(1973)
- 11 DELUCIA, A.J.,
MUSTAFA, M.G., CROSS,
C.E., PLOPPER, C.G.,
DUNGWORTH, D.L.,
TYLER, W.S.: BIOCHEMICAL AND MORPHOLOGICAL
ALTERATION IN THE LUNG FOLLOWING
OZONE EXPOSURE
American Institute of Chemical
Engineers Air 1973: Part I, Sub-
mitted für Publication (1975)
- 12 DENZINGER, H.: ÜBER DIE EIGNUNG VON REAKTIONSZEIT-
MESSUNGEN SOWIE VON MESSUNGEN DER
SCHWELLE UND DER REFLEXZEIT DES
PATELLARSEHNENREFLEXES FÜR METEORO-
BIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN
Med. Dissertation, München 1953
- 13 DIRNAGL, K.: GESUNDHEITSSCHÄDEN DURCH KÜNSTLICHE
RAUM-OZONISIERUNG
Münchener med. Wochenschrift 29:1414
(1965)

- 14 DUNGWORTH, D.L., EFFECT OF AMBIENT LEVELS OF OZONE
CASTLEMAN, W.L., CHOW, ON MONKEYS
C.K., MELLICK, P., Federation Proceedings 34:1676
MUSTAFA, M.G., (1975)
TARKINGTON, B.,
TYLER, W.S.:
- 15 DÜTSCH, H.U.: CURRENT PROBLEMS OF THE PHOTO-
CHEMICAL THEORY OF ATMOSPHERIC
OZONE aus
CHEMICAL REACTIONS IN THE LOWER
AND UPPER ATMOSPHERE
Proceedings of an International
Symposium arranged by STANFORD
Research Institute San Francisco,
California, April 18-20, 1961
- 16 FANKHAUSER, R.K.: OZONE
Journal of the Air Pollution
Control
Aug. 76, S. 772
- 17 FETNER, R.H.: OZONE-INDUCED CHROMOSOME BREAKAGE
IN HUMAN CELL CULTURES
Nature 194:793 (1962)
- 18 FIRGAU, H.J.: EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN ÜBER
DIE FLIMMERGRENZE
Göttingen Calvör 1934
- 19 FOLINSBEE, L.J., EXERCISE RESPONSES FOLLOWING OZONE
SILVERMAN, F., EXPOSURE
SHEPARD, J.R.: Journal of Applied Physiology
38:996 (1975)

- 20 FRANKE, L.: Ozon ist kein Gesundbrunnen
Süddeutsche Zeitung v. 6.10.1976,
S. 25
- 21 FREEMAN, G., CHANGES IN DOG'S LUNGS AFTER LONG-
STEPHANS, R.J., TERM EXPOSURE TO OZONE
COFFIN, D.L., STARA, Archives of Environmental Health
J.F.: 26:209 (1973)
- 22 FREEMAN, G., JUHOS, L. PATHOLOGY OF PULMONARY DISEASE FROM
T., FURIOSI, N.J., EXPOSURE TO INTERDEPENDENT AMBIENT
MUSSSENDEN, R., GASES
STEPHENS, R.J., EVANS, Archives of Environmental Health
M.J.: 29:203 (1974)
- 23 FRIELING, H., SCHMIDT, DER FRIELING-TEST
E.T.: Veröffentlichung des
Instituts für Farbenpsychologie
Marquartstein/Obb. (1961)
- 24 GARDNER, D.E.; LOSS OF PROTECTIVE FACTOR FOR
PFITZER, E.A., ALVEOLAR MACROPHAGES WHEN EXPOSED
CHRISTIAN, R.T., TO OZONE
COFFIN, D.L.: Archives of Internal Medicine
Symposium, 9:144 (1971)
- 25 GITTER, A., TASCHENBUCH KLINISCHER FUNKTIONS-
HELLMEYER, L.: PRÜFUNGEN
VEB Gustav Fischer Verlag
Jena 1969
- 26 GOLDSTEIN, E., OZONE AND ANTIBACTERIAL DEFENSE
TYLER, W.S., MECHANISM OF THE MURINE LUNG
HOEPPRICH, P.D., Archives of Internal Medicine
EAGLE, C.: 127:1099 (1971)

- 27 GOLDSTEIN, E.: POTENTATION OF COMPLEMENT-DEPENDENT
MEMBRANE DAMAGE BY OZONE
Arch. of Environ. Health,
S. 40 (1974)
- 28 GREGOR, M.: Med. Dissertation, München 1977
- 29 GRISWOLD, S.S., REPORT OF A CASE EXPOSURE TO HIGH
CHAMBERS, L.A., OZONE CONCENTRATIONS FOR TWO HOURS
MOTLEY, H.L.; Arch. Industr. Health
15:108 (1957)
- 30 GROSS, P., SCHEEL, L. OZONE TOXICITY STUDIES;
D., STOKINGER, H.E.: DESTRUKTION OF ALVEOLAR SEPTA -
A PRECURSOR OF EMPHYSEMA ?
Medicina Thoracalis 22:377 (1965)
- 31 HACKNEY, J.D., LINN, EXPERIMENTAL STUDIES ON HUMAN
W.S., MOHLER, J.G., HEALTH EFFECTS OF AIR POLLUTANTS II
PEDERSEN, E.E., Archives of Environmental Health
BREISACHER, P., RUSSO, 30:379 (1975)
A.:
- 32 HACKNEY, J.D., LINN, EXPERIMENTAL STUDIES ON HUMAN
W.S., LAW, D.C., HEALTH EFFECTS AIR POLLUTANTS III
KARUZA, S.K., GREEN- Archives of Environmental Health
BERG, H., BUCKLEY, R.D., 30:385 (1975)
PEDERSEN, E.E.:
- 33 HALLETT, W.Y.: EFFECT OF OZONE AND CIGARETTE
SMOKE ON LUNG FUNCTION
Archives of Environmental Health
10:295 (1965)

- 34 HATTORI,K., KATO,N., PROTECTIVE EFFECT OF OZONE IN MICE
KONSHITA,M., AGAINST WHOLE-BODY X-IRRADIATION
KONSHITA,S.,SUNADA, Nature 198:1220 (1963)
T.:
- 35 HARTMANN,A.: ÜBER DEN EINFLUSS DES RHYTHMUS AUF
DIE FLIMMERGRENZE UND IHRE BEZIE-
HUNG ZU TYPEN DER PERSÖNLICHKEIT
Göttingen, Calvör (1935)
- 36 HAZUCHA,M.,SILVERMAN, PULMONARY FUNCTION IN MAN AFTER
F.,PARENT,C.,FIELD,S, SHORT-TERM EXPOSURES TO OZONE
BATES,D.V.: Archives of Environmental Health
27:183 (1973)
- 37 HERRMANN,R.,HEINKE, DIE BEEINFLUSSUNG DER KALIUM- UND
E.: CALCIUM-KONZENTRATION IM SERUM
DURCH KÜNSTLICHE OZONISIERUNG DER
RAUMLUFT
Strahlentherapie 87:473 (1952)
- 38 HOLLWICH,F.: DER EINFLUSS DES AUGENLICHTS AUF
DIE REGULATION DES STOFFWECHSELS
Bücherei des Augenarztes
23:95 (1955)
- 39 JAFFE,L.S.: PHOTOCHEMICAL AIR POLLUTANTS AND
THEIR EFFECTS ON MEN AND ANIMALS
II ADVERSE EFFECTS
Archives of Environmental Health
16:241 (1968)
- 40 JESSEL,U.: AKTUELLE BIOLOGISCHE OZONPROBLEME
Strahlentherapie 123:465 (1964)

- 41 KAGAWA, J., TOYAMA, T.: EFFECTS OF OZONE AND BRIEF EXERCISE
ON SPECIFIC AIRWAY CONDUCTANCE IN
MAN
Archives of Environmental Health
30:36 (1975)
- 42 KERR, H.D., KULLE, T.J., EFFECTS OF OZONE ON PULMONARY
McILHANY, M.L.,
SWIDERSKY, P.: FUNCTION IN NORMAL SUBJECTS
American Review of Respiratory
disease, 3:763 (1975)
- 43 KLEINSCHMIDT, J., EINFLÜSSE DES OZONGEHALTES DER
PHILIPPI, P.: ATMELUFT AUF DIE KONZENTRATION
VON MINERALSTOFFEN IM BLUT
Vortrag anlässlich des 77. Kongresses
der Deutschen Gesellschaft für Phy-
sikalische Medizin in Hannover/Bad
Nenndorf 1972
- 44 KLEBERGER, E.: UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE VERSCHMEL-
ZUNGSFREQUENZ INTERMITTIERENDEN
LICHTS AN GESUNDEN UND KRANKEN
AUGEN
v. Graefes Archiv f. Ophthalmologie
Bd. 155, S. 314, I. Mitteilung
S. 324, II. Mitteilung (1954)
- 45 KROENING, J.L., NEY, ATMOSPHERIC OZONE
P.E.: Journal of Geophysical Research
67:1867 (1962)
- 46 LAGERWERFF, J.M.: PROLONGED OZONE INHALATION AND ITS
EFFECTS ON VISUAL PARAMETERS
Aerospace Medicine 34:479 (1963)

- 47 MADLUNG, H.: ÜBER DEN EINFLUSS TYPOLOGISCHER
VERANLAGUNG AUF DIE FLIMMERGRENZEN
Göttingen, Calvör 1935
- 48 MATZEN, R.N.: DEVELOPMENT OF TOLERANCE TO OZONE
IN REFERENCE TO PULMONARY EDEMA
Am. Journal of Physiology
190:84 (1957)
- 49 MELLEROWICZ, H.: ERGOMETRIE
GRUNDRISS DER MEDIZINISCHEN
LEISTUNGSMESSUNG
München - Berlin - Wien 1975
- 50 MILLER, S., EHRLICH, R.: SUSCEPTIBILITY TO RESPIRATORY
INFECTIONS OF ANIMALS EXPOSED
TO OZONE; I. SUSCEPTIBILITY TO
KLEBSIELLA PNEUMONIAE
Journal of Infectious Disease
103:145 (1958)
- 51 MITTLER, S., KING, M., TOXICITY OF OZONE
BURKHARDT, B.: Archives of Industrial Hygiene
and Occupational Medicine
15:191 (1957)
- 52 MURPHY, J.S., ORR, J.R.: OZONE CHEMISTRY AND TECHNOLOGY
Philadelphia 1975
- 53 MURPHY, S.D., ULRICH, ALTERED FUNCTION IN ANIMALS INHAL-
C.E., FRANKOWITZ, S.H., ING LOW CONCENTRATIONS OF OZONE
XINTARAS, C.: AND NITROGEN DIOXIDE
American Industrial Hygiene
Association Journals 25:246 (1964)

- 54 MUSTATA, M.C., CROSS, C.E.: EFFECTS OF SHORT-TERM OZONE EXPOSURE ON LUNGS MITOCHONDRIAL OXIDATIVE AND ENERGY METABOLISM Archives of Biochemistry and Biophysics 162:588 (1974)
- 55 PENHA, P.D., WERTHAMER, S.: PULMONARY LESIONS INDUCED BY LONG-TERM EXPOSURE TO OZONE II. ULTRASTRUCTURE OBSERVATIONS OF PROLIFERATIVE AND REGRESSIVE LESIONS Archives of Environmental Health 29:282 (1974)
- 56 PHILIPPI, P.: Med. Dissertation in Vorbereitung
- 57 REITER, R.: BEZIEHUNGEN ZWISCHEN REAKTIONSZEIT DES MENSCHEN, VERKEHRSUNFALLZIFFER UND METEOROLOGISCHEN VORGÄNGEN Münchner Medizin. Wochenschrift Nr. 1 v. 5.1.51, S. 27
- 58 RENZ, H.: ANALYSE UND AUSSAGEKRAFT DES ATEMSTOSSTESTS Med. Dissertation, München 1972
- 59 RUMMELD, H.: TIEREXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN ZUR TOXIZITÄT VON OZON IN NIEDRIGEN KONZENTRATIONEN Med. Dissertation, München 1968
- 60 SCHAPPLER, M.: PSYCHOPHYSISCHE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DEN EINFLUSS KURZFRISTIGER ÄNDERUNGEN VON TEMPERATUR UND LUFTFEUCHTIG-

KEIT AUF DAS CIRCADIANE FARBWahl-
UND FARBERINNERUNGSVERHALTEN, AUF
FLIMMERVERSCHMELZUNGSFREQUENZ,
LIDSCHLAGFREQUENZ, CORNEALE
SCHMERZEMPFIINDUNG UND MUSKELKOORDI-
NATION WÄHREND EINES LANGFRISTIGEN
AUENTHALTS IN DER KLIMAKAMMER
Med. Dissertation

- 61 SCHOBER, H.: DAS SEHEN
VEB Leipzig, Bd. 1 1960
Bd. 2 1964
- 62 SCHMIDT, H. G.: DER LÜSCHER FARBTESZUR DIAGNOSE
DER VEGETATIVEN STÖRUNGEN
Therapiewoche Heft 19
- 63 STOKINGER, H. E.: OZONE TOXICITY, Review of Literature
Through 1953
Arch. Industr. Hyg. 9:366, (1954)
- 64 STOKINGER, H. E.: OZONE TOXICOLOGY
Archives of Environmental Health
10:719, (1965)
- 65 STOKINGER, H. E.,
WAGNER, W. D.,
WRIGHT, P. G.: STUDIES OF OZONE TOXICITY
Archives of Industrial Hygiene
14:158 (1956)
- 66 SVIRBELEY, J. L.: OZONE TOXICITY AND SUBSTANCES
ASSOCIATED WITH ITS PRODUCTION
Archives of Industrial Hygiene and
Occupational Medicine 15 (1957)

- 67 TRAMS, E.G., LAUTER, C.J., BRANDENBURGER BROWN, E.A., YOUNG, O.: CEREBRAL CORTICAL METABOLISM AFTER CHRONIC EXPOSURE TO OZONE
Archives of Environmental Health
24:153 (1972)
- 68 TREYDTE, K.: ERPROBUNG EINIGER PSYCHOPHYSISCHER TESTMETHODEN ALS HILFSMITTEL FÜR LANGZEITVERSUCHE IN KÜNSTLICH GESTEUERTEM KLIMA
Med. Dissertation, München 1971
- 69 SWANN, H.E., BALCHUM, O.J.: BIOCHEMICAL EFFECTS OF URBAN AIR POLLUTION
Archives of Environmental Health
12:698 (1966)
- 70 VAUGHAN, T.R., MOORMAN, W.J., LEWIS, T.R.: CARDIO PULMONARY EFFECTS OF ACUTE EXPOSURE TO OZONE IN THE DOG
Toxicology and Applied Pharmacology 20:404 (1971)
- 71 WATANABE, S., FRANK, R., YOKOYAMA, E.: ACUTE EFFECTS OF OZONE ON LUNGS OF CATS
Amer. Rev. Resp. Dis.
108:1141 (1973)
- 72 WERTHAMER, S., PENHA, P.D., AMARAL, L.: PULMONARY LESIONS INDUCED BY CHRONIC EXPOSURE TO OZONE;
I. BIOCHEMICAL ALTERATIONS
Archives of Environmental Health
29:164 (1974)
- 73 WILSKA, S.: OZONE. ITS PHYSIOLOGICAL EFFECTS AND ANALYTICAL DETERMINATION IN

LABORATORY AIR
Acta Chemica Scandinavia
5:1359 (1951)

- 74 YOUNG, W.A., SHAW, D.
B., BATES, D.V.: EFFECT OF LOW CONCENTRATIONS OF
OZONE ON PULMONARY FUNCTION IN
MAN
Journal of Applied Physiology
19:765 (1964)

LEBENS LAUF

- 1950 20. Januar: geboren in Ingolstadt an der Donau
als 2. Kind des Spediteurs Peter Amberger und seiner
Ehefrau Maria, geb. Müller
- 1956 Herbst: Eintritt in die Volksschule St. Anton/Ingol-
stadt
- 1962 Herbst: Eintritt in das Gnadenthal-Gymnasium in
Ingolstadt
- 1969 Juni: Abitur
- 1969/70 Wintersemester: Aufnahme des Medizinstudiums an
der Albert-Ludwig Universität, Freiburg
- 1971 April: Hochschulwechsel zur Ludwig-Maximilians-
Universität, München
- 1975 Juni: Abschluß des Medizinstudiums mit dem Staats-
examen
- 1975 Juli bis November: Studienaufenthalt in Nigeria
- 1976 Januar bis August: Medizinal-Assistent auf der
Internen Abteilung und der Anaesthesie am Kreis-
krankenhaus München-Pasing
- 1976 September bis Oktober: wissenschaftliche Hilfskraft
am Institut für Medizinische Balneologie und Klima-
tologie der Universität München
- 1977 Februar bis Mai: Medizinal-Assistent auf der
Chirurgischen Abteilung des Städtischen Kranken-
haus Weißenburg
- 1977 1. Juni: Approbation
- 1977 Juni bis Dezember: Assistenzärztin für Chirurgie
in Weißenburg
- 1978 ab Januar Assistenzärztin für Neurologie am Kranken-
haus St. Josef, Regensburg

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof.Dr.med.H.Drexel, Vorstand des Instituts für Balneologie und Klimatologie der Universität München und Herrn Dipl.-Phys. K. Dirnagl für die Überlassung des Themas sowie die Anleitung und stete Hilfsbereitschaft bei der Fertigstellung dieser Arbeit.

Ebenso bin ich Herrn Dr.rer.physiol. Dipl.-Phys. J. Kleinschmidt, der durch seine zahlreichen praktischen Ratschläge und durch seine fachliche Hilfe wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beitrug, zu Dank verpflichtet.

Nicht vergessen möchte ich auch die übrigen Mitarbeiter des Instituts, die durch Ihre freundliche Art den reibungslosen Ablauf der Versuchsdurchführung ermöglichten.

